

Dr. rer. nat. Dipl.-Chem. Adolf Franck

Kunststoff-Kompendium

**Herstellung, Aufbau, Verarbeitung, Anwendung,
Umweltverhalten und Eigenschaften der Thermoplaste,
Polymerlegierungen, Elastomere und Duroplaste**

4., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

Bibliothek Fachbereich Chemie
Technische Universität Darmstadt

Fra 18

Vogel Buchverlag

PC 1M307

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	5	2.2.2	Radikalische Polymerisation von Vinylchlorid	45
1	Grundbegriffe	13	2.2.3	Anionische Polymerisation von Cyanoacrylat	48
1.1	Definitionen	13	2.2.4	Kationische Polymerisation von Vinylether	50
1.2	Chemischer Aufbau	14	2.2.5	Stereospezifische Polymerisation von Propylen mittels Ziegler-Natta-Katalysatoren oder Metallocen-Katalysatoren	52
1.3	Definitionen zur Nomenklatur der Polymere	16	2.2.6	Ionische Polymerisation von Heterocyclen	58
1.3.1	Deklination	16	2.2.7	Additionspolymerisation als Stufenreaktion (APS)	60
1.3.2	Kurzzeichen	16	2.2.8	Kondensationspolymerisation (KP)	62
1.3.3	Trivialname Tn	16	2.2.9	Polymerisation durch oxidative Kopplung	64
1.3.4	Monomereinheit ME (monomeric unit) nach IUPAC	16	2.2.10	Molmasse der Makromoleküle	65
1.3.5	Herkunftsbezogener Name hN	17	2.2.11	Copolymerisation	65
1.3.6	Konstitutionelle Repetiereinheit KRE (englisch: Constitutional repeating unit) nach IUPAC	17	2.2.11.1	Überwiegend lineare Ketten	65
1.3.7	Strukturbezogener Name sN nach IUPAC	17	2.2.11.2	Fpropfcopolymerisation	67
1.3.8	Kunststoffgruppe Kg	17	2.2.12	Allgemeine Erscheinungen bei der Polymerisation	68
1.3.9	Beispiele zur Nomenklatur	17	2.3	Technologie der Polymerisation	71
1.4	Makromoleküleigenschaften als Ursache der Werkstoffeigenschaften	22	3	Aufbau und thermische Eigenschaften der Standard- und Hochleistungskunststoffgruppen	79
1.4.1	Gestalt der Makromoleküle	22	3.1	Grundbegriffe und Übersicht	79
1.4.2	Ordnung der Makromoleküle	24	3.2	Teilkristalline Thermoplaste	84
1.4.3	Nebenvalenzkräfte und ihr Einfluß auf das Verhalten der Kunststoffe	25	3.2.1	Zustandsbereiche und Übergangstemperaturen	84
1.4.4	Die Kunststoffgruppen: Thermo-plaste – Polymerlegierungen – Elastomere – Duroplaste	26	3.2.2	Auswirkungen der Übergangstemperaturen	90
1.5	Zusammenfassung der Werkstoffeigenschaften	29	3.2.3	Herkunft und Bedeutung thermodynamischer Daten	90
1.6	Vergleich der Kunststoffe mit Metallen, Keramik, Glas	30	3.2.4	Schmelzwärme und Kristallinitätsgrad	92
2	Kunststoffherstellung (Polymerisation)	35	3.2.5	Dichte und Kristallinitätsgrad	93
2.1	Grundbegriffe und Übersicht	35	3.2.6	Kennzeichnung der Wendelstruktur (Helix)	94
2.1.1	Einteilung der Polymerisationsarten	35	3.2.7	Kristallisationsgeschwindigkeit	95
2.1.2	Struktur und Polymerisations-neigung von C=C-Monomeren	38	3.3	Homogene amorphe Thermoplaste	96
2.2	Reaktionsmechanismen	44	3.4	Polymerlegierungen	104
2.2.1	Additionspolymerisation als Kettenreaktion (APK)	44			

3.4.1	Definition	104	4.2.5.4	Extrudieren von Rohren	165
3.4.2	Verträglichkeit verschiedener Polymere untereinander	104	4.2.5.5	Ummantelung von Elektrokabeln	166
3.5	Schlagzähe Thermoplaste und ihr Wirkungsmechanismus	110	4.2.5.6	Herstellen von Textilfasern	166
3.6	Thermoplastische Elastomere	112	4.2.5.7	Coextrusion	168
3.7	Chemisch weitmaschig vernetzte Elastomere	116	4.2.6	Folienblasen	168
3.7.1	Thermisches Verhalten	116	4.2.7	Spritzgießen	169
3.7.2	Chemischer Aufbau und Beständigkeit	117	4.2.8	Blasformen von Hohlkörpern	177
3.8	Vernetzte Reaktionsharze	120	4.2.8.1	Extrusionsblasformen	177
3.9	Engmaschig vernetzte Duroplaste	123	4.2.8.2	Spritzblasen und Spritzstreckblasen	182
3.10	Verbundwerkstoffe mit Kunststoffen	124	4.2.9	Pressen	183
3.10.1	Eigenschaften von Verbundwerkstoffen	124	4.2.9.1	Chemisch vernetzbare Formmassen	183
3.10.2	Auswirkungen durch die chemische Natur der Verstärkungsstoffe	125	4.2.9.2	Glasmattenverstärkte Thermoplaste (GMT)	183
3.10.3	Geometrie der Verstärkungsstoffe bezüglich Wirkung und Verarbeitbarkeit	130	4.2.10	Schäumen	185
3.10.4	Haftvermittler	131	4.2.11	Beschichten	188
3.11	Hochtemperaturfeste Kunststoffe, Hochtemperaturablation	132	4.2.12	Verarbeiten von Kunststoffpulver	188
3.11.1	Polymere mit reiner Kohlenstoffhauptkette	132	4.2.13	Verarbeiten von Pasten	190
3.11.2	Polymere mit aliphatisch gebundenen Heteroatomen in der Hauptkette	133	4.2.14	Verarbeiten von Lösungen	192
3.11.3	Polymere mit Heterocyclen in der Hauptkette	135	4.2.15	Verarbeiten von Kautschukemulsionen	192
3.11.4	Polymere mit Leiterkonfiguration	139	4.2.16	Verarbeiten von flüssigen Reaktionsharzen zu GFK	192
3.11.5	Kunststoffe zur Hochtemperaturablation	140	4.2.17	Rapid Prototyping	193
3.12	Selbstverstärkende flüssigkristalline Polymere	141	4.3	Warmformen (Umformen) von thermoplastischem Halbzeug	197
3.13	Elektrisch leitfähige Kunststoffe	144	4.3.1	Temperaturbereiche für das Warmformen	197
3.14	Ferromagnetischer Kunststoff	146	4.3.2	Warmformen durch Vakuum oder Überdruck	198
			4.3.3	Prägen	199
			4.3.4	Abkanten und Biegen	200
			4.3.5	Recken und Schrumpfen	200
			4.4	Fügen	200
			4.4.1	Kunststoffschweißen (Thermoplaste)	200
			4.4.2	Kleben	202
			4.4.3	Schnappverbindung	205
			4.4.4	Schrauben, Nieten	205
			4.5	Oberflächenbearbeitung und Veredeln der Kunststoffe	205
4	Kunststoffverarbeitung	147	4.6	Spanende Bearbeitung (Trennen)	205
4.1	Grundbegriffe und Übersicht	147			
4.2	Urformen	154			
4.2.1	Hilfsstoffe für die Verarbeitung	154	5	Kunststoffanwendungen	207
4.2.2	Aufarbeiten der Rohstoffe und Lieferformen	156	5.1	Grundlagen	207
4.2.3	Temperaturbereiche und Schergeschwindigkeiten für das Urformen	157	5.2	Maschinenbau, Apparatebau	207
4.2.4	Kalandrieren	157	5.3	Bautechnik	208
4.2.5	Extrudieren	161	5.4	Kfz-Technik	210
4.2.5.1	Grundbegriffe des Extrudierens von Vollprofilen	161	5.5	Luft- und Raumfahrt	214
4.2.5.2	Extrudieren von Platten mit dem Breitschlitzwerkzeug	165	5.6	Elektrotechnik, EDV	214
4.2.5.3	Extrudieren von Sinterwerkstoffen	165	5.7	Kernkraftwerkstechnik	216
			5.8	Medizin	216
			5.9	Sport	217
			5.10	Haushalt	218
			5.11	Verpackungen	218
			5.12	Landwirtschaft, Gartenbau	218

5.13	Textilindustrie, Fasern	219	8	Einzelbesprechung der Kunststoffe 307
5.14	Anwendungen und Eigenschaften von Elastomeren	219	8.1	Grundbegriffe und Übersicht zum Hauptkettenaufbau der Kunststoffe 307
5.15	Produktionsdaten	222	8.1.1	Polarität und Beständigkeit der Kunststoffe mit reiner Kohlenstoffhauptkette 307
6	Kunststoffe und Umwelt	225	8.1.2	Polarität und Beständigkeit der Kunststoffe mit Heteroatomen in der Hauptkette 309
6.1	Grundlagen und Übersicht	225	8.1.3	Beständigkeit von Duroplasten 310
6.1.1	Umweltpolitik und Umweltmanagement (UM)	225	8.2	Polymere mit reiner Kohlenstoffhauptkette 310
6.1.2	Ganzheitliche Bilanzierung	226	8.2.1	Polyethylen 310
6.2	Vorschriften zum Umweltschutz	226	8.2.1.1	PE-Homopolymer 310
6.3	Lebensmittelverpackung, Spielwaren, Medizin	227	8.2.1.2	Verzweigungen und Kristallinität 310
6.4	Luftreinhaltung	227	8.2.1.3	Molmasse 311
6.5	Ozonschichtschädigung und Treibhauseffekt	228	8.2.1.4	Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendungen 311
6.6	Abwasser	229	8.2.1.5	Copolymere des Ethylens 312
6.7	Verhalten auf der Deponie	229	8.2.1.6	Blends von Polyethylen mit anderen Polymeren 317
6.8	Nachwachsende Rohstoffe, abbaubare Kunststoffe	229	8.2.1.7	Chemische Abwandlungen des Polyethylen 318
6.9	Rückgewinnung (Recycling)	230	8.2.2	Polypropylen 318
6.10	Kunststoffe in der Umweltschutztechnik	232	8.2.2.1	Polymerisation 319
7	Kunststoffeigenschaften	233	8.2.2.2	Allgemeine Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendung 320
7.1	Grundbegriffe und Übersicht, Qualitätsmanagement nach DIN EN ISO 9000 ff.	233	8.2.2.3	Copolymere und Polyblends 321
7.2	Beständigkeit von Kunststoffen	235	8.2.3	Polybuten-1 322
7.2.1	Beständigkeit gegen Bewitterung	235	8.2.4	Weitere Polyalkene (Polyolefine) 324
7.2.2	Beständigkeit gegen Säuren, Läugen, Heißwasser	238	8.2.4.1	Poly(methylpenten) 324
7.2.3	Spannungsrissbildung in Abhängigkeit von Spannung, Medium und Temperatur	238	8.2.4.2	Polyisobutylene 324
7.2.4	Permeation beim Kunststoff-Kraftstoff-Behälter (KKB)	242	8.2.5	Polystyrol und seine Modifikationen 325
7.2.5	Praktische Beständigkeiteinstufung und ihre Begründung	242	8.2.5.1	Polystyrol – Homopolymer 325
7.2.6	Flammfestigkeit	246	8.2.5.2	Übersicht der Copolymeren und Blends 326
7.2.7	Wirkung von energiereichen Strahlen	249	8.2.5.3	Statistische Copolymeren 326
7.3	Kennwerte	250	8.2.5.4	Pfropfcopolymere und Polyblends als schlagzähe amorphe Thermoplaste 328
7.3.1	Mechanische Eigenschaften	250	8.2.5.5	3-Block-Copolymere als thermoplastische Elastomere 330
7.3.2	Molmasse, Fließverhalten und verarbeitungstechnische Eigenschaften	254	8.2.5.6	Verarbeitung und Anwendungen von Polystyrolkunststoffen 332
7.3.3	Thermische Kennwerte	257	8.2.5.7	Polystyrolschaum (expandierbares Polystyrol) 332
7.3.4	Physikalisch-chemische Kennwerte, Verhalten bei Einflüssen von außen	258	8.2.5.8	Galvanisieren von ABS 333
7.3.5	Elektrische Kennwerte	259	8.2.5.9	Polymerisate von Styrolabkömmlingen 333
7.4	Kunststoffeigenschaften in Tabellen	260	8.2.6	Synthesekautschuktypen 333
			8.2.6.1	Kautschuktypen 333
			8.2.6.2	Polymerisation 334
			8.2.6.2.1	Emulsionspolymerisation 334

8.2.6.2.2 Stereospezifische Polymerisation	334	8.3.1.2 Herstellung der Polyamide	365
8.2.6.2.3 Lösungspolymerisation	335	8.3.1.2.1 Polymerisationsarten	365
8.2.6.3 Verarbeitung der Rohpolymerate	335	8.3.1.3 Allgemeine Eigenschaften der aliphatischen Polyamide	366
8.2.6.4 Vulkanisation	335	8.3.1.4 Abgewandelte Polyamidarten	367
8.2.6.5 Butadien-Elastomere	336	8.3.1.5 Verarbeitung von Polyamiden	368
8.2.6.6 Styrol/Butadien-Elastomer	336	8.3.1.6 Anwendungen	369
8.2.6.7 Acrylnitril/Butadien-Elastomer (Nitrilkautschuk)	337	8.3.1.7 Herstellung von Polyamidfolien . .	369
8.2.6.8 Isopren-Elastomer	339	8.3.1.8 Lacke, Beschichtungen, Klebstoffe	369
8.2.6.9 Isopren/Isobutylen-Copolymer (Butylkautschuk)	339	8.3.2 Lineare Polycarbamate (Polyurethane)	370
8.2.6.10 Chlorbutadien-Elastomer	340	8.3.3 Lineare Polyester	370
8.2.6.11 Cyclopenten-Elastomer	341	8.3.3.1 Herstellung	370
8.2.7 Halogenhaltige Polymere	341	8.3.3.2 Polyterephthalate	371
8.2.7.1 Poly(vinylchlorid)	341	8.3.3.2.1 Chemisch einheitliche Polyterephthalate	371
8.2.7.1.1 Hart-PVC (PVC-U)	341	8.3.3.2.2 Blockcopolymere als thermoplastische Elastomere	372
8.2.7.1.2 Weich-PVC (PVC mit Weichmacherzusatz)	344	8.3.3.3 Polycarbonate	373
8.2.7.1.3 Polyblends mit PVC als schlagzähe PVC-Typen	346	8.3.3.4 Polyester vom Hydroxysäuretyp .	374
8.2.7.1.4 Pfropfcopolymere als schlagzähe PVC-Typen	347	8.3.4 Polyoxymethylen (Polyacetal)	375
8.2.7.1.5 Statistische Copolymere	348	8.3.5 Polyether	376
8.2.7.1.6 Chemische Abwandlung: nachchloriertes PVC	348	8.3.5.1 Herstellungsprinzip	376
8.2.7.2 Poly(vinylidenchlorid)	349	8.3.5.2 Polyethylenoxid	376
8.2.7.3 Poly(tetrafluorethylen)	350	8.3.5.3 Polypropylenoxid	376
8.2.7.4 Poly(chlortrifluorethylen)	351	8.3.5.4 Polyadditionsprodukte von Ethylenoxid und Propylenoxid an Amine, Alkohole, Phenole usw.	376
8.2.7.5 Poly(vinylidenfluorid)	352	8.3.5.5 Polyether-block-amid	376
8.2.7.6 Poly(vinylfluorid)	352	8.3.5.5.1 Thermoplast-Formmassen	377
8.2.7.7 Fluorhaltige Copolymere	352	8.3.5.5.2 PEBA für das Reaktionsspritzen	378
8.2.7.8 Fluorcarbon-Elastomer	353	Chlorepoxypropan-Elastomer	379
8.2.8 Poly(vinylether)	354	8.3.5.7 Phenoxyharz	379
8.2.9 Poly(vinylacetat)	355	8.4 Vernetzte Duroplaste und Reaktionsharze	379
8.2.10 Poly(vinylpropionat)	355	8.4.1 Klassische Kondensationsharze	379
8.2.11 Poly(vinylalkohol)	356	8.4.1.1 Übersicht	379
8.2.12 Poly(vinylacetale)	357	8.4.1.2 Phenoplaste	380
8.2.13 Acrylpolymerate	358	8.4.1.2.1 Produktübersicht	380
8.2.13.1 Poly(acrylsäureester) (Acrylharze) und Copolymerate	358	8.4.1.2.2 Vorkondensation	380
8.2.13.2 Poly(methacrylsäuremethylester)	360	8.4.1.2.3 Härtung	380
8.2.13.3 Poly(acrylnitril)	361	8.4.1.2.4 Verarbeitung der Vorkondensate	381
8.2.13.4 Poly(vinylidencarbonitril)	362	8.4.1.3 Aminoplaste	381
8.2.13.5 Poly(cyanoacrylat)	362	8.4.2 Vernetzte Polyester	382
8.2.13.6 Poly(methacrylimid)-Schaumstoff	362	8.4.2.1 Ungesättigte Polyester	382
8.2.13.7 Poly(acrylamid)	362	8.4.2.1.1 Produktübersicht	382
8.2.14 Poly(vinylamine)	362	8.4.2.1.2 Härtung	384
8.2.14.1 Poly(vinylcarbazol)	362	8.4.2.1.3 Eigenschaften	386
8.2.14.2 Poly(vinylpyrrolidon)	363	8.4.2.1.4 Verarbeitung	386
8.2.14.3 Poly(vinylpyridin)	363	8.4.2.1.5 Glasfaserverstärkte Kunstharze .	387
8.3 Polymere mit Heteroatomen in der Hauptkette	363	8.4.2.2 Polyesterharze (meist ungesättigt) als Lacke	387
8.3.1 Polyamide	364	8.4.3 Epoxyharze (Epoxidharze)	388
8.3.1.1 Produktübersicht und Nomenklatur	364		

8.4.3.1	Produktübersicht und Nomenklatur	388	8.5.3.7	Keramik aus (halb-)metallorganischen Stoffen	415
8.4.3.2	Synthese des Ausgangsharzes	388	8.5.3.8	Dämpfe von Methylsilanen	415
8.4.3.3	Kalthärtung mit Polyaminen	389	8.5.3.9	Fluorsiloxane	415
8.4.3.4	Härtung durch ionische Polymerisation von Epoxygruppen	390	8.5.3.10	Polyfluorsiloxane	415
8.4.3.5	Warmhärtung	391	8.5.4	Andere Polymere mit anorganischer Hauptkette	415
8.4.3.6	Abgewandelte Epoxyharze	391	8.6	Abgewandelte Naturprodukte	416
8.4.3.7	Verarbeitung, Verwendung	392	8.6.1	Kunststoffe auf Grundlage der Cellulose	416
8.4.3.8	Eigenschaften der Epoxyharze	393	8.6.1.1	Regenerierte Cellulose	416
8.4.4	Vernetzte Polycarbamate (Polyurethane)	393	8.6.1.1.1	Pergamentpapier	417
8.4.4.1	Nomenklatur und Produktübersicht	393	8.6.1.1.2	Kupferoxid-Ammoniak-Verfahren	417
8.4.4.2	Verarbeitung der Vorprodukte in einem Schritt (Reaktionsharze)	396	8.6.1.2	Celluloseester	417
8.4.4.2.1	Allgemeines	396	8.6.1.2.1	Cellulosenitrat	417
8.4.4.2.2	Gieß-, Streich- und Spachtelmassen	397	8.6.1.2.2	Organische Celluloseester	417
8.4.4.2.3	Schaumstoffe	397	8.6.1.2.3	Eigenschaften, Anwendungen	418
8.4.4.2.4	Polyurethan-Injektionsmassen	399	8.6.1.3	Celluloseether	418
8.4.4.2.5	Polyurethanlacke und -klebstoffe	402	8.6.2	Kunststoffe auf Proteinbasis	419
8.4.4.2.6	1-Komponenten-Systeme	402	8.6.3	Naturkautschuk und Abwandlungsprodukte	419
8.4.4.3	Verarbeitung über Voraddukte	403	8.6.4	Polymerisate aus ungesättigten Naturölen	419
8.4.4.3.1	PUR-Elastomer	403	8.7	Ionen austauscher (Austauscherharze)	420
8.4.4.3.2	PUR-Hartelastomer	404			
8.4.4.3.3	Thermoplastisches PUR-Elastomer	405			
8.4.4.3.4	Vulkanisierbares PUR-Elastomer	405			
8.4.4.3.5	Zelliges PUR-Elastomer	405			
8.4.4.3.6	Elastomere Fäden	406			
8.4.5	Methylmethacrylat-Reaktionsharz	406	Anhang		
8.4.6	Alkylenulfid-Elastomere	406	Geschichtliche Entwicklung der Kunststoffe und Elastomere	423	
8.4.7	Triazinharze	407			
8.4.8	Furanharze	407	Quellenverzeichnis	425	
8.5	Polysiloxane (Silicone) und andere Polymere mit anorganischer Hauptkette	408	Weiterführende Literatur	429	
8.5.1	Aufbau und Eigenschaften der Polysiloxane	408	Formelzeichen der im Buch verwendeten Formeln	445	
8.5.2	Synthese der Polysiloxane	409	Glossar	449	
8.5.3	Siloxanprodukte	409	Kurzzeichen der Kunststoffe	455	
8.5.3.1	Siloxanharze	409	Stichwort- und Abkürzungsverzeichnis	460	
8.5.3.2	Hartschaum	411			
8.5.3.3	Siloxankautschuk	411			
8.5.3.3.1	Vernetzte, hochmolekulare Polydimethylsiloxane	411			
8.5.3.3.2	Bor-Siloxan-Elastomere	414			
8.5.3.4	Siloxanöle	414			
8.5.3.5	Siloxanpasten – Siloxanfette	414			
8.5.3.6	Siloxandispersionen und -lösungen	414			

Hinweis auf verbesserte Lern- und Rechenmöglichkeiten mit Diskette

- Wissensbasiertes Computer Based Training zur Kunststoffherstellung (Prof. Dr. C. Möbus) 458
- Übungsfragen und Rechenprogramme 459