

1 Aufbau und Eigenschaften der Werkstoffe

1.1 Physikalische Grundlagen	10	1.5 Einteilung der Kunststoffe	65
1.1.1 Grundbegriffe	10	1.5.1 Einteilung nach der Bildungsreaktion	65
1.1.2 Masse und Gewichtskraft	11	1.5.2 Einteilung nach dem thermischen Verhalten	65
1.1.3 Länge, Fläche, Volumen und Dichte	13		
1.1.4 Zeit und Geschwindigkeit	15	1.6 Wärmeverhalten von Kunststoffen	67
1.1.5 Weitere wichtige physikalische Größen	17	1.6.1 Wärmeverhalten von amorphen Thermoplasten	67
1.1.6 Aggregatzustand, Adhäsion, Kohäsion und Kapillarwirkung	20	1.6.2 Wärmeverhalten von teilkristallinen Thermoplasten	68
1.1.7 Gemenge	22	1.6.3 Wärmeverhalten von Duromeren	69
1.1.8 Kräfte und ihre Wirkungen	24	1.6.4 Wärmeverhalten von Elastomeren	69
1.2 Werkstofftechnik	26		
1.2.1 Einteilung der Werkstoffe	26	1.7 Kunststoffe – Eigenschaften und Anwendung	71
1.2.2 Eigenschaften der Werkstoffe	28	1.7.1 Thermoplaste	71
1.2.3 Einteilung der Eisen-Werkstoffe	31	1.7.2 Polymerblends	85
1.2.4 Handelsformen der Stähle	35	1.7.3 Elastomere	87
1.2.5 Wärmebehandlung bei Stählen	36	1.7.4 Thermoplastische Elastomere	92
1.2.6 Normung der Eisen-Werkstoffe	37	1.7.5 Duromere	95
1.2.7 Nichteisenmetalle	39		
1.2.8 Verbundstoffe	40		
1.3 Chemische Grundlagen	41	1.8 Verstärkungsstoffe	101
1.3.1 Aufbau der Atome	41	1.8.1 Verbundwerkstoffe	101
1.3.2 Das Periodensystem der Elemente	41	1.8.2 Verstärkungsfasern	102
1.3.3 Aufbau der Moleküle	42	1.8.3 Bauformen der Fasern (Roving)	102
1.3.4 Chemische Formeln	44	1.8.4 Faserhalbzeuge	103
1.3.5 Organische Kohlenwasserstoffe	47	1.8.5 Vorimprägnierte Halbzeuge	103
	48		
1.4 Bildung von Makromolekülen	52	1.9 Zuschlag- und Hilfsstoffe	104
1.4.1 Vom Erdöl zum Monomer	52	1.9.1 Anforderungen an Additive	104
1.4.2 Vom Monomer zum Polymer	54	1.9.2 Additive für Thermoplaste und Duromere	104
1.4.3 Makromoleküle	59	1.9.3 Additive für Kautschuke	106
	60	1.10 Kunststoffe – Tabellenübersicht	107

2 Fertigungs- und Prüftechnik für Kunststoffe und Metalle

2.1 Grundlagen der Prüftechnik	108	2.3 Fertigungshauptgruppen	135
2.1.1 Grundbegriffe	108	2.3.1 Verfahren der Fertigungshauptgruppen	137
2.1.2 Messabweichungen	110		
2.1.3 Toleranzen und Passungen	111	2.4 Berechnungen zur Fertigungs- und Prüftechnik	167
2.2 Aufbau, Funktion und Anwendung von Prüfmitteln	120	2.4.1 Berechnungen zur Prüftechnik	167
2.2.1 Längenprüfmittel	120	2.4.2 Berechnungen zur Fertigungstechnik	169
2.2.2 Lehren	128	2.5 Vorschriften des Arbeits- und Gesundheitsschutzes	173
2.2.3 Winkelmessgeräte	129	2.5.1 Sicherheitszeichen	173
2.2.4 Oberflächenprüfmittel	130	2.5.2 Sicherheitsmaßnahmen	174
2.2.5 Farb- und Glanzprüfung	133		
2.2.6 Gewichts-, Dichte- und Feuchtigkeits-Prüfung	134	2.6 Umweltschutzvorschriften	175

3 Verarbeitung und Prüfung von Kunststoffen

3.1 Qualitätsmanagement	176	3.3.3 Deponierung	187
3.1.1 Qualitätsregelkreis	177		
3.1.2 Methoden des Qualitätsmanagements	177	3.4 Werkstoffprüfverfahren der Kunststofftechnik	188
3.1.3 Statistische Verfahren des Qualitätsmanagements	180	3.4.1 Kunststofferkennung	189
		3.4.2 Rieselfähigkeit	193
		3.4.3 Roh- und Schüttdichte	195
3.2 Qualitätssicherungsmaßnahmen	185	3.4.4 Härteprüfung	197
3.2.1 Qualitätssichernde Elemente	185	3.4.5 Feuchteprüfung	199
3.2.2 Lieferantenbewertung	185	3.4.6 Schmelzindex (MFI)	200
3.2.3 Kundenzufriedenheit	185	3.4.7 Zugprüfung, E-Modul	201
3.2.4 Produkthaftung	186	3.4.8 Schlag- und Kerbschlagprüfung	202
3.3 Ökonomischer und ökologischer Kunststoffeinsatz	187	3.4.9 Formbeständigkeit in der Wärme	203
3.3.1 Kunststoffrecycling	187	3.4.10 Infrarotspektroanalyse	204
3.3.2 Verbrennung	187	3.4.11 Spannungsoptik	205

4 Maschinentechnische Grundfunktionen an kunststoffverarbeitenden Maschinen

4.1 Systemanalyse	206	4.5 Verbindungseinheiten	227
		4.5.1 Welle-Nabe-Verbindungen	227
4.2 Antriebseinheiten	208	4.5.2 Schraubverbindungen	230
4.2.1 Elektromotor	208	4.5.3 Stiftverbindungen	232
4.2.2 Hydromotor	208	4.5.4 Nietverbindungen	233
4.2.3 Druckluftmotor	209	4.6 Begriffe und Größen der Elektrotechnik	234
4.3 Übertragungseinheiten	210	4.6.1 Grundkenntnisse	234
4.3.1 Wellen	210	4.6.2 Die elektrische Spannung	234
4.3.2 Achsen	210	4.6.3 Der elektrische Strom	235
4.3.3 Zapfen	211	4.6.4 Der elektrische Widerstand	236
4.3.4 Kupplungen	212	4.6.5 Das Ohmsche Gesetz	237
4.3.5 Riementriebe	216	4.6.6 Schaltung von Widerständen	238
4.3.6 Kettentriebe	217	4.6.7 Die elektrische Arbeit und Leistung	239
4.3.7 Zahnradtriebe	218	4.7 Eigenschaften und Anwendung von Energieträgern	240
4.3.8 Getriebe	219	4.8 Gefahren des elektrischen Stromes	240
4.4 Stütz- und Trageeinheiten	222		
4.4.1 Gehäuse und Gestelle	222		
4.4.2 Lager	223		
4.4.3 Führungen	225		

5 Steuerungs- und Regelungstechnik

5.1 Steuerungs- und Regelungsvorgänge	242	5.4.2 Hydraulikflüssigkeiten und Bauteile	268
5.1.1 Der automatische Prozess	242		
5.1.2 Grundlagen der Steuerungstechnik	243	5.5 Elektropneumatische Steuerungen	274
5.1.3 Grundlagen der Regelungstechnik	245	5.5.1 Elektrische Signaleingabeelemente	274
5.1.4 Bauelemente von Steuerungen	247	5.5.2 Relais, Schütze und Magnetventile	275
5.1.5 Darstellungsformen von Steuerungen	250	5.5.3 Grundschaltungen	276
5.2 Pneumatische Anlagen	253	5.6 Speicherprogrammierte Steuerungen (SPS)	280
5.2.1 Drucklufterzeugung	253	5.6.1 Aufbau einer SPS	280
5.2.2 Ventile	257	5.6.2 Arbeitsweise und Programmierung einer SPS	281
5.3 Steuerungen entwerfen	262	5.6.3 Programmierung einer Verknüpfungs- bzw. Ablaufsteuerung	284
5.3.1 Vor- und Nachteile der Pneumatik	262	5.7 Handhabungseinrichtungen	285
5.3.2 Aufbau von Schaltplänen	262	5.7.1 Einteilung von Handhabungseinrichtungen	285
5.3.3 Bezeichnung der Bauteile und pneumatische Grundschaltungen	263	5.7.2 Funktionseinheiten und die Programmierung von Industrierobotern	286
5.3.4 Signalüberschneidungen	265	5.7.3 Besonderheiten und Schutzvorkehrungen bei Industrierobotern	288
5.4 Hydraulische Steuerungen	268		
5.4.1 Vorteile und Nachteile der Hydraulik	268		

6 Fertigungsspezifische Vor- und Nachbehandlungsmaßnahmen

6.1 Vor- und Aufbereitungsmaßnahmen	290	6.2 Nachbehandlungsmaßnahmen	304
6.1.1 Zerkleinern	290	6.2.1 Tempern	304
6.1.2 Mischen	293	6.2.2 Konditionieren	305
6.1.3 Plastifizieren	295	6.2.3 Oberflächenvorbehandlung	305
6.1.4 Granulieren	297	6.2.4 Oberflächenveredlung	308
6.1.5 Trocknung	300		
6.1.6 Lagerung und Transport	302		

7 Herstellen von Formteilen durch Spritzgießen

7.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses	313	7.2.4 Werkzeugtemperierung	339
7.1.1 Arbeitsstellungen der Maschine	314	7.2.5 Werkzeugentlüftung	341
7.1.2 Zyklusablauf bei Thermoplastverarbeitung	315	7.2.6 Entformung	342
7.1.3 Verarbeitungsparameter	316	7.3 Fertigungsverfahren	347
7.1.4 Schließeinheit	317	7.3.1 Spritzgießen von Thermoplasten	347
7.1.5 Spritzeinheit	325	7.3.2 Spritzgießen von Elastomeren	353
7.2 Aufbau von Spritzgießwerkzeugen	330	7.3.3 Spritzgießen von Duromeren	355
7.2.1 Angussysteme	331	7.3.4 Sonderverfahren	357
7.2.2 Angussformen	332	7.4 Spritzgießfehler	370
7.2.3 Werkzeugarten	336		

8 Herstellen von Formteilen durch Pressen

8.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses	374	8.1.4 Fehler und ihre Ursachen beim Verarbeiten von Formmassen	388
8.1.1 Formpressen	374	8.2 Pressen und Pressautomaten	389
8.1.2 Spritzgießen	382	8.2.1 Nachbearbeiten von Formteilen	391
8.1.3 Presswerkzeuge	384	8.2.2 Sonderverfahren zur Verarbeitung von Formmassen	392

9 Herstellen von Formteilen durch Blasformen

9.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses	394	9.2.3 Formentlüftung	411
9.1.1 Plastifiziereinheit	397	9.2.4 Formkühlung	412
9.1.2 Schlauchköpfe	398	9.2.5 Formunterbau	412
9.1.3 Wanddickensteuerung	402	9.2.6 Entformungshilfen	413
9.1.4 Schließeinheit	404	9.2.7 Zusatzeinrichtungen	413
9.1.5 Schlauchtrennvorrichtung	405	9.3 Fertigungsverfahren	414
9.1.6 Blasstation	406	9.3.1 Verfahren mit kontinuierlichem Schlauchaustritt	414
9.1.7 Nachfolgestation	408	9.3.2 Verfahren mit diskontinuierlichem Schlauchaustritt	416
9.2 Aufbau von Blaswerkzeugen	409	9.3.3 Streckblasen und Spritzblasen	418
9.2.1 Werkstoffe	409	9.3.4 Bottlepack-Verfahren	419
9.2.2 Trennkanten	410		

10 Herstellen von Formteilen und Halbzeugen durch Schäumen

10.1 Allgemeines über Schäume	420	10.3 Schäume aus reaktionsfähigen, flüssigen Ausgangskomponenten	431
10.2 Schäume aus blähfähigen Einzelteilchen	422	10.3.1 PUR-Schaum	431
10.2.1 Expandierfähiges Polystyrol EPS	422	10.3.2 Melaminharzschaumstoff	439
10.2.2 Expandierfähiges Polypropylen EPP	428		

11 Herstellen von Halbzeugen durch Extrudieren

11.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses	440	11.3.2 Gegenläufiger Doppelschneckenextruder (Gegenläufer)	454
11.1.1 Aufbau einer Extrusionsanlage	441	11.3.3 Planetwalzenextruder	456
11.1.2 Aufgaben des Extruders	441		
11.1.3 Extruderbauarten	442	11.4 Extrusionswerkzeuge	457
11.2 Einschneckenextruder	442	11.4.1 Werkzeuge mit kreisringspaltförmigem Austrittsquerschnitt	457
11.2.1 Extruderschnecken	443	11.4.2 Profilwerkzeuge	461
11.2.2 Plastifizierzylinder	446	11.4.3 Flachfolien- und Plattenwerkzeuge	462
11.2.3 Einfülltrichter, Förder- und Mischgeräte	448	11.4.4 Coextrusionswerkzeuge für Thermoplaste	463
11.2.4 Antriebseinheit	448		
11.2.5 Temperiersystem	448	11.5 Nachfolgeeinrichtungen	464
11.2.6 Glattrohrextruder (Konventioneller Extruder)	448	11.6 Produktionslinien	466
11.2.7 Nutbuchsenextruder (Extruder mit genuteter Einzugsbuchse)	450	11.6.1 Blasfolienanlagen	466
11.3 Doppelschneckenextruder	451	11.6.2 Flachfolienanlage	468
11.3.1 Gleichläufiger Doppelschneckenextruder (Gleichläufer)	451		

12 Herstellen von Halbzeugen durch Kalandrieren

12.1 Systemanalyse der Kalanderanlage und des Prozesses	470	12.3.4 Abzugs-, Kühl- und Aufwickeleinrichtung	478
12.2 Kalandrierbare Kunststoffformmassen	471	12.4 Nachbehandlung	478
12.3 Aufbau der Kalanderstraße	471	12.5 Besonderheiten beim Kalandrieren von Kautschuk	479
12.3.1 Materialaufbereitung beim Kalandrieren	472	12.5.1 Kalandrierbare Kautschuke	479
12.3.2 Die Kalandereinheit	473	12.5.2 Besonderheiten der Kalandereinheit	480
12.3.3 Der Kalandriervorgang bei Thermoplasten	474		

13 Herstellen von Halbzeugen durch Beschichten

13.1 Beschichten mit fließfähigen Materialien	482	13.4 Beschichten aus der Schmelze	492
13.1.1 Trägerstoffe	482		
13.1.2 Beschichtungsmassen	483	13.5 Oberflächenbehandlung beschichteter Trägerbahnen	494
13.1.3 Arbeitsablauf von PVC-Beschichtungsverfahren	484	13.5.1 Prägen	494
13.1.4 Beschichtungsverfahren und -maschinen	486	13.5.2 Überfärben	495
13.2 Das Tauchverfahren und Imprägnieren	488	13.5.3 Lackieren	495
13.3 Kaschieren von Trägerbahnen	489	13.6 Umweltschutzmaßnahmen	495
13.3.1 Hotmelt- Sprüh-Kaschierung	492		

14 Herstellen von Mehrschicht-Kautschukteilen

14.1 Mischen und Kneten	496	14.8 Systemanalyse der Konfektionierungsanlage und deren Prozesse	508
14.2 Mischverfahren	497		
14.3 Der Innenmischer	498	14.9 Verfahrenszyklus	511
14.4 Das Walzwerk	501	14.9.1 Herstellung von Reifenrohlingen	511
14.5 Nachfolgeeinrichtungen	502	14.9.2 Heizpressen	512
14.6 Mischsaalsystem mit zentralem Innenmischer	503	14.10 Vulkanisation	515
14.7 Herstellung von Platten und gummierten Festigkeitsträgern	504	14.10.1 Grundkenntnisse zur Vulkanisation	515
14.7.1 Gummieren von Geweben	504	14.10.2 Vulkanisationsverlauf	516
14.7.2 Skimmen	505	14.10.3 Vulkanisationsverfahren	517
14.7.3 Belegen von Stahlcord und Geweben	505	14.10.4 Kontinuierliches Vulkanisationsverfahren unter Druck	517
14.7.4 Profilieren	505	14.10.5 Kontinuierliches Vulkanisationsverfahren ohne Druck	518
14.7.5 Roller-Head-Verfahren (Extrudierverfahren)	506		
14.7.6 Nachfolgeeinrichtungen	506		

15 Herstellen von Bauteilen durch Bearbeiten von Halbzeugen

15.1 Umformverfahren	520	15.3 Kleben von Kunststoffen	549
15.1.1 Werkstoffverhalten beim Umformen	521	15.3.1 Technologie des Klebens	549
15.1.2 Umformbereiche	523	15.3.2 Klebstoffe	550
15.1.3 Biegeumformen	525	15.3.3 Gestaltung von Klebeverbindungen	552
15.1.4 Positivformung	527	15.3.4 Vorbehandlung der Klebeflächen	554
15.1.5 Negativformung	528	15.3.5 Der Klebevorgang	555
15.1.6 Druckumformen	529	15.3.6 Vor- und Nachteile von Klebverbindungen	556
15.1.7 Spezielle Umformverfahren	530		
15.1.8 Umformwerkzeuge	531		
15.1.9 Vor- und Nachbearbeitung der Halbzeuge	532	15.4 Mechanische Verbindungen von Kunststoffen	557
15.2 Schweißen von Kunststoffen	534	15.4.1 Schnappverbindungen	557
15.2.1 Grundlagen des Kunststoffschweißens	534	15.4.2 Schraubverbindungen	558
15.2.2 Heizelementschweißen (Schweißen durch Wärmeleitung)	536	15.4.3 Nietverbindungen	559
15.2.3 Warmgasschweißen (Schweißen durch Konvektion)	538	15.4.4 Steck- und Pressverbindungen	559
15.2.4 Schweißen durch Strahlung	542		
15.2.5 Schweißen durch Reibung	543	15.5 Elemente und Baugruppen des Behälter- und Apparatebaus	560
15.2.6 Schweißen durch Induktion	547	15.5.1 Absperr-, Regel- und Sicherheitsarmaturen	560
15.2.7 Anwendung der Schweißverfahren und Schweißsymbole	548	15.5.2 Rohrleitungssysteme und Rohrverbindungen	561

16 Herstellen von Bauteilen durch Laminieren

16.1 Werkstoffkomponenten für Faserverbundwerkstoffe	562	16.9 Formgebungsverfahren	569
		16.9.1 Handlaminierverfahren	569
		16.9.2 Vakuumsackverfahren	571
16.2 Duroplastische Matrixharze	563	16.9.3 Faserharzspritzen	571
		16.9.4 Wickelverfahren	572
16.3 Reaktionsmittel	564	16.9.5 Harzinjektionsverfahren	574
16.4 Härtung von Reaktionsharzen	564	16.9.6 Pressen	575
16.5 Thermoplastische Matrices	564	16.9.7 Schleudern	575
		16.9.8 Pultrusion	576
		16.9.9 Autoklav-Verfahren	577
16.6 Verstärkungsmaterialien	565	16.10 Nachbearbeitung	577
16.6.1 Ausführungsformen der Verstärkungsmaterialien	566	16.11 Bauteilgestaltung	577
16.6.2 Stützkernwerkstoffe und Sandwichmaterialien	568	16.11.1 Leichtbauprinzipien	578
		16.11.2 Werkstoffgerechte Bauteilgestaltung	578
		16.11.3 Verfahrensgerechte Gestaltung	579
16.7 Additive	568	16.12 Fügen von Bauteilen	580
16.8 Vor- und Zwischenprodukte	568		

17 Auskleiden und Abdichten

17.1 Auskleidewerkstoffe	582	17.2 Auskleidetechniken	585
---------------------------------	-----	--------------------------------	-----

18 Technik und Herstellung von Kunststofffenstern

18.1 Fenstersysteme und ihre Elemente	590	18.3 Montage und Befestigung von Fenstersystemen	612
18.1.1 Glas- und Scheibenarten	590		
18.1.2 Profil- und Konstruktionsarten	596	18.3.1 Arbeitsplan für die Montage eines unverglasten Drehkipp-Fensters	614
18.1.3 Aufbau und Maßbezeichnungen von Fenstern	599	18.3.2 Grundlagen der Bauphysik	615
18.1.4 Fensterbeschläge	601		
18.2 Herstellung von Fensterrahmen	603	18.4 Reparatur und Wartung von Fenstersystemen	619
18.2.1 Profilzuschnitt und -bearbeitung	605	18.4.1 Beseitigung von Oberflächenschäden	619
18.2.2 Verbinden der Profilzuschnitte	607	18.4.2 Wartung der Fenster	619
18.2.3 Klotzung und Dichtung der Scheibe	609		