

1 Aufbau und Eigenschaften der Werkstoffe

1.1 Physikalische Grundlagen	10	1.6 Wärmeverhalten von Kunststoffen	67
1.1.1 Grundbegriffe	10	1.6.1 Wärmeverhalten von amorphen Thermoplasten	67
1.1.2 Masse und Gewichtskraft	11	1.6.2 Wärmeverhalten von teilkristallinen Thermoplasten	68
1.1.3 Länge, Fläche, Volumen und Dichte	13	1.6.3 Wärmeverhalten von Duroplasten	69
1.1.4 Zeit und Geschwindigkeit	15	1.6.4 Wärmeverhalten von Elastomeren	69
1.1.5 Weitere wichtige physikalische Größen	17		
1.1.6 Aggregatzustand, Adhäsion, Kohäsion und Kapillarwirkung	20		
1.1.7 Gemenge	22	1.7 Kunststoffe – Eigenschaften und Anwendung	71
1.1.8 Kräfte und ihre Wirkungen	24	1.7.1 Thermoplaste	71
1.2 Werkstofftechnik	26	1.7.2 Polymerblends	85
1.2.1 Einteilung der Werkstoffe	26	1.7.3 Elastomere	87
1.2.2 Eigenschaften der Werkstoffe	28	1.7.4 Thermoplastische Elastomere	92
1.2.3 Einteilung der Eisen-Werkstoffe	31	1.7.5 Duroplaste	95
1.2.4 Handelsformen der Stähle	35	1.7.6 Biokunststoffe	101
1.2.5 Wärmebehandlung bei Stählen	36		
1.2.6 Normung der Eisen-Werkstoffe	37	1.8 Verstärkungsstoffe	105
1.2.7 Nichteisenmetalle	39	1.8.1 Verbundwerkstoffe	105
1.2.8 Verbundstoffe	40	1.8.2 Verstärkungsfasern	106
1.3 Chemische Grundlagen	41	1.8.3 Bauformen der Fasern (Roving)	106
1.3.1 Aufbau der Atome	41	1.8.4 Faserhalbzeuge	107
1.3.2 Das Periodensystem der Elemente	42	1.8.5 Vorimprägnierte Halbzeuge	107
1.3.3 Aufbau der Moleküle	44		
1.3.4 Chemische Formeln	47	1.9 Zuschlag- und Hilfsstoffe	108
1.3.5 Organische Kohlenwasserstoffe	48	1.9.1 Anforderungen an Additive	108
1.4 Bildung von Makromolekülen	52	1.9.2 Additive für Thermoplaste und Duroplaste	108
1.4.1 Vom Erdöl zum Monomer	52	1.9.3 Additive für Kautschuke	110
1.4.2 Vom Monomer zum Polymer	54		
1.4.3 Makromoleküle	59		
1.5 Einteilung der Kunststoffe	65		
1.5.1 Einteilung nach der Bildungsreaktion	65		
1.5.2 Einteilung nach dem thermischen Verhalten	65		

2 Fertigungs- und Prüftechnik für Kunststoffe und Metalle

2.1 Grundlagen der Prüftechnik	112	2.3 Fertigungshauptgruppen	139
2.1.1 Grundbegriffe	112	2.3.1 Verfahren der Fertigungshauptgruppen	141
2.1.2 Messabweichungen	114		
2.1.3 Toleranzen und Passungen	115	2.4 Berechnungen zur Fertigungs- und Prüftechnik	175
		2.4.1 Berechnungen zur Prüftechnik	175
2.2 Aufbau, Funktion und Anwendung von Prüfmitteln	124	2.4.2 Berechnungen zur Fertigungstechnik	177
2.2.1 Längenprüfmittel	124		
2.2.2 Lehren	132	2.5 Vorschriften des Arbeits- und Gesundheitsschutzes	181
2.2.3 Winkelprüfgeräte	133	2.5.1 Sicherheitszeichen	181
2.2.4 Oberflächenprüfmittel	134	2.5.2 Sicherheitsmaßnahmen	182
2.2.5 Farb- und Glanzprüfung	137		
2.2.6 Gewichts-, Dichte- und Feuchtigkeits-Prüfung	138	2.6 Umweltschutzvorschriften	183

3 Verarbeitung und Prüfung von Kunststoffen

3.1 Qualitätsmanagement	184	3.4 Werkstoffprüfverfahren der Kunststofftechnik	198
3.1.1 Qualitätsregelkreis	185	3.4.1 Kunststofferkennung	199
3.1.2 Methoden des Qualitätsmanagements	185	3.4.2 Rieselfähigkeit	203
3.1.3 Statistische Verfahren des Qualitätsmanagements	188	3.4.3 Roh- und Schüttdichte	205
3.2 Qualitätssicherungsmaßnahmen	193	3.4.4 Härteprüfung	207
3.2.1 Qualitätssichernde Elemente	193	3.4.5 Feuchteprüfung	209
3.2.2 Lieferantenbewertung	193	3.4.6 Schmelzindex (MFR)/(MVR)	210
3.2.3 Kundenzufriedenheit	193	3.4.7 Zugprüfung, E-Modul	211
3.2.4 Produkthaftung	194	3.4.8 Schlag- und Kerbschlagprüfung	212
3.3 Recycling	195	3.4.9 Formbeständigkeit in der Wärme	213
3.3.1 Werkstoffliches Recycling	195	3.4.10 Infrarotspektralanalyse	214
3.3.2 Rohstoffliches Recycling	197	3.4.11 Spannungsoptik	215
3.3.3 Thermische Verwertung	197		

4 Maschinentechnische Grundfunktionen an kunststoffverarbeitenden Maschinen

4.1 Systemanalyse	216	4.5.1 Welle-Nabe-Verbindungen	237
4.2 Antriebseinheiten	218	4.5.2 Schraubverbindungen	240
4.2.1 Elektromotor	218	4.5.3 Stiftverbindungen	242
4.2.2 Hydromotor	218	4.5.4 Nietverbindungen	243
4.2.3 Druckluftmotor	219	4.6 Begriffe und Größen der Elektrotechnik	244
4.3 Übertragungseinheiten	220	4.6.1 Grundkenntnisse	244
4.3.1 Wellen	220	4.6.2 Die elektrische Spannung	244
4.3.2 Achsen	220	4.6.3 Der elektrische Strom	245
4.3.3 Zapfen	221	4.6.4 Der elektrische Widerstand	246
4.3.4 Kupplungen	222	4.6.5 Das Ohm'sche Gesetz	247
4.3.5 Riementriebe	226	4.6.6 Schaltung von Widerständen	248
4.3.6 Kettentriebe	227	4.6.7 Die elektrische Arbeit und Leistung	249
4.3.7 Zahnradtriebe	228	4.7 Eigenschaften und Anwendung von Energieträgern	250
4.3.8 Getriebe	229		
4.4 Stütz- und Trageeinheiten	232	4.8 Gefahren des elektrischen Stromes	250
4.4.1 Gehäuse und Gestelle	232	4.9 Instandhaltung	252
4.4.2 Lager	233	4.9.1 Wartung	254
4.4.3 Führungen	235	4.9.2 Inspektion	255
4.5 Verbindungseinheiten	237	4.9.3 Instandhaltungsstrategien	255

5 Steuerungs- und Regelungstechnik

5.1 Steuerungs- und Regelungsvorgänge	258	5.5 Elektropneumatische Steuerungen	290
5.1.1 Der automatische Prozess	258	5.5.1 Elektrische Signaleingabeelemente	290
5.1.2 Grundlagen der Steuerungstechnik	259	5.5.2 Relais, Schütze und Magnetventile	291
5.1.3 Grundlagen der Regelungstechnik	261	5.5.3 Grundschaltungen	292
5.1.4 Bauelemente von Steuerungen	263	5.6 Speicherprogrammierte Steuerungen (SPS)	296
5.1.5 Darstellungsformen von Steuerungen	266	5.6.1 Aufbau einer SPS	296
5.2 Pneumatische Anlagen	269	5.6.2 Arbeitsweise und Programmierung einer SPS	297
5.2.1 Drucklufterzeugung	269	5.6.3 Programmierung einer Verknüpfungs- bzw. Ablaufsteuerung	300
5.2.2 Ventile	273	5.7 Handhabungseinrichtungen	301
5.3 Steuerungen entwerfen	278	5.7.1 Einteilung von Handhabungseinrichtungen	301
5.3.1 Vor- und Nachteile der Pneumatik	278	5.7.2 Funktionseinheiten und die Programmierung von Industrierobotern	302
5.3.2 Aufbau von Schaltplänen	278	5.7.3 Besonderheiten und Schutzvorkehrungen bei Industrierobotern	304
5.3.3 Bezeichnung der Bauteile und pneumatische Grundschaltungen	279		
5.3.4 Signalüberschneidungen	281		
5.4 Hydraulische Steuerungen	284		
5.4.1 Vorteile und Nachteile der Hydraulik	284		
5.4.2 Hydraulikflüssigkeiten und Bauteile	284		

6 Fertigungsspezifische Vor- und Nachbehandlungsmaßnahmen

6.1 Vor- und Aufbereitungsmaßnahmen	306	6.1.8 Lagerung und Transport	320
6.1.1 Zerkleinern	306	6.2 Nachbehandlungsmaßnahmen	322
6.1.2 Mischen	309	6.2.1 Tempern	322
6.1.3 Plastifizieren	311	6.2.2 Konditionieren	323
6.1.4 Granulieren	313	6.2.3 Oberflächenvorbehandlung	323
6.1.5 Masterbatch	316	6.2.4 Oberflächenveredlung	326
6.1.6 Compoundierung	317		
6.1.7 Trocknung	318		

7 Herstellen von Formteilen durch Spritzgießen

7.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses	331	7.2.3 Werkzeugarten	354
7.1.1 Arbeitsstellungen der Maschine	332	7.2.4 Werkzeugtemperierung	357
7.1.2 Zyklusablauf bei Thermoplastverarbeitung	333	7.2.5 Werkzeugentlüftung	359
7.1.3 Verarbeitungsparameter	334	7.2.6 Entformung	360
7.1.4 Schließeinheit	335	7.3 Fertigungsverfahren	364
7.1.5 Spritzeinheit	343	7.3.1 Spritzgießen von Thermoplasten	364
7.2 Aufbau von Spritzgießwerkzeugen	348	7.3.2 Spritzgießen von Elastomeren	371
7.2.1 Angussysteme	349	7.3.3 Spritzgießen von Duromeren	373
7.2.2 Angussformen	350	7.3.4 Sonderverfahren	375
		7.4 Spritzgießfehler	388

8 Herstellen von Formteilen durch Pressen

8.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses	392	8.1.4 Fehler und ihre Ursachen beim Verarbeiten von Formmassen	406
8.1.1 Formpressen	392	8.2 Pressen und Pressautomaten	407
8.1.2 Spritzpressen	400	8.2.1 Nachbearbeiten von Formteilen	409
8.1.3 Presswerkzeuge	402	8.2.2 Sonderverfahren zur Verarbeitung von Formmassen	410

9 Herstellen von Formteilen durch Blasformen

9.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses	412	9.2.3 Formentlüftung	429
9.1.1 Plastifiziereinheit	415	9.2.4 Formkühlung	430
9.1.2 Schlauchköpfe	416	9.2.5 Formunterbau	430
9.1.3 Wanddickensteuerung	420	9.2.6 Entformungshilfen	431
9.1.4 Schließeinheit	422	9.2.7 Zusatzeinrichtungen	431
9.1.5 Schlauchtrennvorrichtung	423	9.3 Fertigungsverfahren	432
9.1.6 Blasstation	424	9.3.1 Verfahren mit kontinuierlichem Schlauchaustritt	432
9.1.7 Nachfolgestationen	426	9.3.2 Verfahren mit diskontinuierlichem Schlauchaustritt	434
9.2 Aufbau von Blaswerkzeugen	427	9.3.3 Streckblasen und Spritzblasen	436
9.2.1 Werkstoffe	427	9.3.4 Bottlepack-Verfahren	437
9.2.2 Trennkanten	428		

10 Herstellen von Formteilen und Halbzeugen durch Schäumen

10.1 Allgemeines über Schäume	438	10.3 Schäume aus reaktionsfähigen, flüssigen Ausgangskomponenten	449
10.2 Schäume aus blähfähigen Einzelteilchen	440	10.3.1 PUR-Schaum	449
10.2.1 Expandierfähiges Polystyrol EPS	440	10.3.2 Melaminharzschaumstoff	457
10.2.2 Expandierfähiges Polypropylen EPP	446		

11 Herstellen von Halbzeugen durch Extrudieren

11.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses	458	11.3.2 Gegenläufiger Doppelschneckenextruder (Gegenläufer)	472
11.1.1 Aufbau einer Extrusionsanlage	459	11.3.3 Planetwalzenextruder	474
11.1.2 Aufgaben des Extruders	459	11.4 Extrusionswerkzeuge	475
11.1.3 Extruderbauarten	460	11.4.1 Werkzeuge mit kreisringspaltförmigem Austrittsquerschnitt	475
11.2 Einschneckenextruder	460	11.4.2 Profilwerkzeuge	479
11.2.1 Extruderschnecken	461	11.4.3 Flachfolien- und Plattenwerkzeuge	480
11.2.2 Plastifizierzylinder	464	11.4.4 Coextrusionswerkzeuge für Thermoplaste	481
11.2.3 Einfülltrichter, Förder- und Mischgeräte	466	11.5 Nachfolgeeinrichtungen	482
11.2.4 Antriebseinheit	466		
11.2.5 Temperiersystem	466		
11.2.6 Glattrohrextruder (Konventioneller Extruder)	466	11.6 Produktionslinien	484
11.2.7 Nutbuchsenextruder (Extruder mit genuteter Einzugsbuchse)	468	11.6.1 Blasfolienanlagen	484
11.3 Doppelschneckenextruder	469	11.6.2 Flachfolienanlage	487
11.3.1 Gleichläufiger Doppelschneckenextruder (Gleichläufer)	469	11.7 Fehler an Extrudaten	489

12 Herstellen von Halbzeugen durch Kalandrieren

12.1 Systemanalyse der Kalandieranlage und des Prozesses	490	12.3.4 Abzugs-, Kühl- und Aufwickeleinrichtung	498
12.2 Kalandrierbare Kunststoffformmassen	491	12.4 Nachbehandlung	498
12.3 Aufbau der Kalandierstraße	491	12.5 Besonderheiten beim Kalandrieren von Kautschuk	499
12.3.1 Materialaufbereitung beim Kalandrieren	492	12.5.1 Kalandrierbare Kautschuke	499
12.3.2 Die Kalandereinheit	493	12.5.2 Besonderheiten der Kalandereinheit	500
12.3.3 Der Kalandriervorgang bei Thermoplasten	494		

13 Herstellen von Halbzeugen durch Beschichten

13.1 Beschichten mit fließfähigen Materialien	502	13.4 Beschichten aus der Schmelze	512
13.1.1 Trägerstoffe	502	13.5 Oberflächenbehandlung beschichteter Trägerbahnen	514
13.1.2 Beschichtungsmassen	503	13.5.1 Prägen	514
13.1.3 Arbeitsablauf von PVC-Beschichtungsverfahren	504	13.5.2 Überfärben	515
13.1.4 Beschichtungsverfahren und -maschinen	506	13.5.3 Lackieren	515
13.2 Das Tauchverfahren und Imprägnieren	508	13.6 Umweltschutzmaßnahmen	515
13.3 Kaschieren von Trägerbahnen	509		
13.3.1 Hotmelt-Kaschierung	512		

14 Herstellen von Mehrschicht-Kautschukteilen

14.1 Mischen und Kneten	516	14.8 Herstellung von Reifen	528
14.2 Mischverfahren	517	14.8.1 Reifenherstellung mit der „Single-Stage“-Reifenaufbaumaschine	531
14.3 Der Innenmischer	518	14.8.2 Reifenheizpressen	532
14.4 Das Walzwerk	521	14.9 Herstellung von Keilriemen	536
14.5 Nachfolgeeinrichtungen	522	14.10 Vulkanisation	539
14.6 Mischsaalsystem mit zentralem Innenmischer	523	14.10.1 Grundkenntnisse zur Vulkanisation	539
14.7 Herstellung von Platten und gummierten Festigkeitsträgern	524	14.10.2 Vulkanisationsverlauf	540
14.7.1 Gummieren von Gewebe	524	14.10.3 Vulkanisationsverfahren	541
14.7.2 Skimmen	525	14.10.4 Kontinuierliches Vulkanisationsverfahren unter Druck	541
14.7.3 Belegen von Stahlkord und Geweben	525	14.10.5 Kontinuierliches Vulkanisationsverfahren ohne Druck	542
14.7.4 Profilieren	525		
14.7.5 Roller-Head-Verfahren (Extrudierverfahren)	526		
14.7.6 Nachfolgeeinrichtungen	526		

15 Herstellen von Bauteilen durch Bearbeiten von Halbzeugen

15.1 Umformverfahren	544	15.3 Kleben von Kunststoffen	573
15.1.1 Werkstoffverhalten beim Umformen	545	15.3.1 Technologie des Klebens	573
15.1.2 Umformbereiche	547	15.3.2 Klebstoffe	574
15.1.3 Biegeumformen	549	15.3.3 Gestaltung von Klebeverbindungen	576
15.1.4 Positivformung	551	15.3.4 Vorbehandlung der Klebeflächen	578
15.1.5 Negativformung	552	15.3.5 Der Klebevorgang	579
15.1.6 Druckumformen	553	15.3.6 Vor- und Nachteile von Klebverbindungen	580
15.1.7 Spezielle Umformverfahren	554		
15.1.8 Umformwerkzeuge	555		
15.1.9 Vor- und Nachbearbeitung der Halbzeuge	556		
15.2 Schweißen von Kunststoffen	558	15.4 Mechanische Verbindungen von Kunststoffen	581
15.2.1 Grundlagen des Kunststoffschweißens	558	15.4.1 Schnappverbindungen	581
15.2.2 Heizelementschweißen (Schweißen durch Wärmeleitung)	560	15.4.2 Schraubverbindungen	582
15.2.3 Warmgasschweißen (Schweißen durch Konvektion)	562	15.4.3 Nietverbindungen	583
15.2.4 Schweißen durch Strahlung	566	15.4.4 Steck- und Pressverbindungen	583
15.2.5 Schweißen durch Reibung	567		
15.2.6 Schweißen durch Induktion	571		
15.2.7 Anwendung der Schweißverfahren und Schweißsymbole	572	15.5 Elemente und Baugruppen des Behälter- und Apparatebaus	584
		15.5.1 Absperr-, Regel- und Sicherheitsarmaturen	584
		15.5.2 Rohrleitungssysteme und Rohrverbindungen	585

16 Herstellen von Bauteilen durch Laminieren

16.1 Werkstoffkomponenten für Faserverbundwerkstoffe	586	16.9 Formgebungsverfahren	593
16.2 Duroplastische Matrixharze	587	16.9.1 Handlaminierverfahren	593
16.3 Reaktionsmittel	588	16.9.2 Vakuumsackverfahren	595
16.4 Härtung von Reaktionsharzen	588	16.9.3 Faserharzspritzen	595
16.5 Thermoplastische Matrices	588	16.9.4 Wickelverfahren	596
16.6 Verstärkungsmaterialien	589	16.9.5 Harzinjektionsverfahren	598
16.6.1 Ausführungsformen der Verstärkungsmaterialien	590	16.9.6 Pressen	599
16.6.2 Stützkernwerkstoffe und Sandwichmaterialien	592	16.9.7 Schleudern	599
16.7 Additive	592	16.9.8 Pultrusion	600
16.8 Vor- und Zwischenprodukte	592	16.9.9 Autoklav-Verfahren	601
		16.10 Nachbearbeitung	601
		16.11 Bauteilgestaltung	601
		16.11.1 Leichtbauprinzipien	602
		16.11.2 Werkstoffgerechte Bauteilgestaltung	602
		16.11.3 Verfahrensgerechte Gestaltung	603
		16.12 Fügen von Bauteilen	604

17 Auskleiden und Abdichten

17.1 Auskleidewerkstoffe	606	17.2 Auskleidetechniken	609
---------------------------------	------------	--------------------------------	------------

18 Technik und Herstellung von Kunststofffenstern

18.1 Fenstersysteme und ihre Elemente	614	18.3 Montage und Befestigung von Fenstersystemen	636
18.1.1 Glas- und Scheibenarten	614	18.3.1 Arbeitsplan für die Montage eines unverglasten Drehkipp-Fensters	638
18.1.2 Profil- und Konstruktionsarten	620	18.3.2 Grundlagen der Bauphysik	639
18.1.3 Aufbau und Maßzeichnungen von Fenstern	623		
18.1.4 Fensterbeschläge	625	18.4 Reparatur und Wartung von Fenstersystemen	643
18.2 Herstellung von Fensterrahmen	627	18.4.1 Beseitigung von Oberflächenschäden	643
18.2.1 Profilzuschneidung und -bearbeitung	629	18.4.2 Wartung der Fenster	643
18.2.2 Verbinden der Profilzuschneidteile	631		
18.2.3 Klotzung und Dichtung der Scheibe	633		