

# 1 Aufbau und Eigenschaften der Werkstoffe

<b>1.1 Physikalische Grundlagen</b>	<b>10</b>	<b>1.6 Wärmeverhalten von Kunststoffen</b>	<b>67</b>
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	<b>1.7 Kunststoffe – Eigenschaften und Anwendung</b>	<b>71</b>
1.1.7 Gemenge	22	1.7.1 Thermoplaste	71
1.1.8 Kräfte und ihre Wirkungen	24	1.7.2 Polymerblends	85
		1.7.3 Elastomere	87
<b>1.2 Werkstofftechnik</b>	<b>26</b>	1.7.4 Thermoplastische Elastomere	92
1.2.1 Einteilung der Werkstoffe	26	1.7.5 Duroplaste	95
1.2.2 Eigenschaften der Werkstoffe	28	1.7.6 Biokunststoffe	101
1.2.3 Einteilung der Eisen-Werkstoffe	31		
1.2.4 Handelsformen der Stähle	35	<b>1.8 Verstärkungsstoffe</b>	<b>105</b>
1.2.5 Wärmebehandlung bei Stählen	36	1.8.1 Verbundwerkstoffe	105
1.2.6 Normung der Eisen-Werkstoffe	37	1.8.2 Verstärkungsfasern	106
1.2.7 Nichteisenmetalle	39	1.8.3 Bauformen der Fasern (Roving)	106
1.2.8 Verbundstoffe	40	1.8.4 Faserhalbzeuge	107
		1.8.5 Vorimprägnierte Halbzeuge	107
<b>1.3 Chemische Grundlagen</b>	<b>41</b>		
1.3.1 Aufbau der Atome	41	<b>1.9 Zuschlag- und Hilfsstoffe</b>	<b>108</b>
1.3.2 Das Periodensystem der Elemente	42	1.9.1 Anforderungen an Additive	108
1.3.3 Aufbau der Moleküle	44	1.9.2 Additive für Thermoplaste und Duroplaste	108
1.3.4 Chemische Formeln	47	1.9.3 Additive für Kautschuke	110
1.3.5 Organische Kohlenwasserstoffe	48		
<b>1.4 Bildung von Makromolekülen</b>	<b>52</b>		
1.4.1 Vom Erdöl zum Monomer	52		
1.4.2 Vom Monomer zum Polymer	54		
1.4.3 Makromoleküle	59		
<b>1.5 Einteilung der Kunststoffe</b>	<b>65</b>		
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

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

### 3 Verarbeitung und Prüfung von Kunststoffen

<b>3.1 Qualitätsmanagement</b>	<b>184</b>	<b>3.4 Werkstoffprüfverfahren der Kunststofftechnik</b>	<b>198</b>
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
<b>3.2 Qualitätssicherungsmaßnahmen</b>	<b>193</b>	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
<b>3.3 Recycling</b>	<b>195</b>	3.4.9 Formbeständigkeit in der Wärme	213
3.3.1 Werkstoffliches Recycling	195	3.4.10 Infrarotspektalanalyse	214
3.3.2 Rohstoffliches Recycling	197	3.4.11 Spannungsoptik	215
3.3.3 Thermische Verwertung	197		

### 4 Maschinentechnische Grundfunktionen an kunststoffverarbeitenden Maschinen

<b>4.1 Systemanalyse</b>	<b>216</b>	4.5.1 Welle-Nabe-Verbindungen	237
<b>4.2 Antriebseinheiten</b>	<b>218</b>	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	<b>4.6 Begriffe und Größen der Elektrotechnik</b>	<b>244</b>
<b>4.3 Übertragungseinheiten</b>	<b>220</b>	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	<b>4.7 Eigenschaften und Anwendung von Energieträgern</b>	<b>250</b>
4.3.8 Getriebe	229	<b>4.8 Gefahren des elektrischen Stromes</b>	<b>250</b>
<b>4.4 Stütz- und Trageinheiten</b>	<b>232</b>	<b>4.9 Instandhaltung</b>	<b>252</b>
4.4.1 Gehäuse und Gestelle	232	4.9.1 Wartung	254
4.4.2 Lager	233	4.9.2 Inspektion	255
4.4.3 Führungen	235	4.9.3 Instandhaltungsstrategien	255
<b>4.5 Verbindungseinheiten</b>	<b>237</b>		

### 5 Steuerungs- und Regelungstechnik

<b>5.1 Steuerungs- und Regelungsvorgänge</b>	<b>258</b>	<b>5.5 Elektropneumatische Steuerungen</b>	<b>290</b>
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 Grundsaltungen	292
5.1.4 Bauelemente von Steuerungen	263	<b>5.6 Speicherprogrammierte Steuerungen (SPS)</b>	<b>296</b>
5.1.5 Darstellungsformen von Steuerungen	266	5.6.1 Aufbau einer SPS	296
<b>5.2 Pneumatische Anlagen</b>	<b>269</b>	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	<b>5.7 Handhabungseinrichtungen</b>	<b>301</b>
<b>5.3 Steuerungen entwerfen</b>	<b>278</b>	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 Grundsaltungen	279		
5.3.4 Signalüberschneidungen	281		
<b>5.4 Hydraulische Steuerungen</b>	<b>284</b>		
5.4.1 Vorteile und Nachteile der Hydraulik	284		
5.4.2 Hydraulikflüssigkeiten und Bauteile	284		

## 6 Fertigungsspezifische Vor- und Nachbehandlungsmaßnahmen

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

## 7 Herstellen von Formteilen durch Spritzgießen

<b>7.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses</b>	<b>331</b>	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	<b>7.3 Fertigungsverfahren</b>	<b>364</b>
7.1.5 Spritzeinheit	343	7.3.1 Spritzgießen von Thermoplasten	364
<b>7.2 Aufbau von Spritzgießwerkzeugen</b>	<b>348</b>	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
		<b>7.4 Spritzgießfehler</b>	<b>388</b>

## 8 Herstellen von Formteilen durch Pressen

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

## 9 Herstellen von Formteilen durch Blasformen

<b>9.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses</b>	<b>412</b>	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	<b>9.3 Fertigungsverfahren</b>	<b>432</b>
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
<b>9.2 Aufbau von Blaswerkzeugen</b>	<b>427</b>	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

<b>10.1 Allgemeines über Schäume</b>	<b>438</b>	<b>10.3 Schäume aus reaktionsfähigen, flüssigen Ausgangskomponenten</b>	<b>449</b>
<b>10.2 Schäume aus blähfähigen Einzelteilen</b>	<b>440</b>	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

<b>11.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses</b>	<b>458</b>	<b>11.3.2 Gegenläufiger Doppelschneckenextruder (Gegenläufer)</b>	<b>472</b>
11.1.1 Aufbau einer Extrusionsanlage	459	11.3.3 Planetwalzenextruder	474
11.1.2 Aufgaben des Extruders	459	<b>11.4 Extrusionswerkzeuge</b>	<b>475</b>
11.1.3 Extruderbauarten	460	11.4.1 Werkzeuge mit kreisringspaltförmigem Austrittsquerschnitt	475
<b>11.2 Einschneckenextruder</b>	<b>460</b>	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	<b>11.5 Nachfolgeeinrichtungen</b>	<b>482</b>
11.2.4 Antriebseinheit	466	<b>11.6 Produktionslinien</b>	<b>484</b>
11.2.5 Temperiersystem	466	11.6.1 Blasfolienanlagen	484
11.2.6 Glattrohretruder (Konventioneller Extruder)	466	11.6.2 Flachfolienanlage	487
11.2.7 Nutbuchsenextruder (Extruder mit genuteter Einzugsbuchse)	468	<b>11.7 Fehler an Extrudaten</b>	<b>489</b>
<b>11.3 Doppelschneckenextruder</b>	<b>469</b>		
11.3.1 Gleichläufiger Doppelschneckenextruder (Gleichläufer)	469		

## 12 Herstellen von Halbzeugen durch Kalandrieren

<b>12.1 Systemanalyse der Kalandieranlage und des Prozesses</b>	<b>490</b>	12.3.4 Abzugs-, Kühl- und Aufwickeleinrichtung	498
<b>12.2 Kalandrierbare Kunststoffformmassen</b>	<b>491</b>	<b>12.4 Nachbehandlung</b>	<b>498</b>
<b>12.3 Aufbau der KalanderstraÙe</b>	<b>491</b>	<b>12.5 Besonderheiten beim Kalandrieren von Kautschuk</b>	<b>499</b>
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

<b>13.1 Beschichten mit fließfähigen Materialien</b>	<b>502</b>	<b>13.4 Beschichten aus der Schmelze</b>	<b>512</b>
13.1.1 Trägerstoffe	502	<b>13.5 Oberflächenbehandlung beschichteter Trägerbahnen</b>	<b>514</b>
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
<b>13.2 Das Tauchverfahren und Imprägnieren</b>	<b>508</b>	<b>13.6 Umweltschutzmaßnahmen</b>	<b>515</b>
<b>13.3 Kaschieren von Trägerbahnen</b>	<b>509</b>		
13.3.1 Hotmelt-Kaschierung	512		

## 14 Herstellen von Mehrschicht-Kautschukteilen

<b>14.1 Mischen und Kneten</b>	<b>516</b>	<b>14.8 Herstellung von Reifen</b>	<b>528</b>
<b>14.2 Mischverfahren</b>	<b>517</b>	14.8.1 Reifenherstellung mit der „Single-Stage“-Reifenaufbaumaschine	531
<b>14.3 Der Innenmischer</b>	<b>518</b>	14.8.2 Reifenheizpressen	532
<b>14.4 Das Walzwerk</b>	<b>521</b>	<b>14.9 Herstellung von Keilriemen</b>	<b>536</b>
<b>14.5 Nachfolgeeinrichtungen</b>	<b>522</b>	<b>14.10 Vulkanisation</b>	<b>539</b>
<b>14.6 Mischsaalsystem mit zentralem Innenmischer</b>	<b>523</b>	14.10.1 Grundkenntnisse zur Vulkanisation	539
<b>14.7 Herstellung von Platten und gummierten Festigkeitsträgern</b>	<b>524</b>	14.10.2 Vulkanisationsverlauf	540
14.7.1 Gummierten 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 Stahl ord 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

<b>15.1 Umformverfahren</b>	<b>544</b>	<b>15.3 Kleben von Kunststoffen</b>	<b>573</b>
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 Klebeverbindungen	580
15.1.7 Spezielle Umformverfahren	554		
15.1.8 Umformwerkzeuge	555	<b>15.4 Mechanische Verbindungen von Kunststoffen</b>	<b>581</b>
15.1.9 Vor- und Nachbearbeitung der Halbzeuge	556	15.4.1 Schnappverbindungen	581
<b>15.2 Schweißen von Kunststoffen</b>	<b>558</b>	15.4.2 Schraubverbindungen	582
15.2.1 Grundlagen des Kunststoffschweißens	558	15.4.3 Nietverbindungen	583
15.2.2 Heizelementschweißen (Schweißen durch Wärmeleitung)	560	15.4.4 Steck- und Pressverbindungen	583
15.2.3 Warmgasschweißen (Schweißen durch Konvektion)	562	<b>15.5 Elemente und Baugruppen des Behälter- und Apparatebaus</b>	<b>584</b>
15.2.4 Schweißen durch Strahlung	566	15.5.1 Absperr-, Regel- und Sicherheits- armaturen	584
15.2.5 Schweißen durch Reibung	567	15.5.2 Rohrleitungssysteme und Rohrverbindungen	585
15.2.6 Schweißen durch Induktion	571		
15.2.7 Anwendung der Schweißverfahren und Schweißsymbole	572		

## 16 Herstellen von Bauteilen durch Laminieren

<b>16.1 Werkstoffkomponenten für Faserverbundwerkstoffe</b>	<b>586</b>	<b>16.9 Formgebungsverfahren</b>	<b>593</b>
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 Verstärkungs- materialien	590	16.9.6 Pressen	599
16.6.2 Stützkernwerkstoffe und Sandwich- materialien	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
		<b>16.10 Nachbearbeitung</b>	<b>601</b>
		<b>16.11 Bauteilgestaltung</b>	<b>601</b>
		16.11.1 Leichtbauprinzipien	602
		16.11.2 Werkstoffgerechte Bauteilgestaltung	602
		16.11.3 Verfahrensgerechte Gestaltung	603
		<b>16.12 Fügen von Bauteilen</b>	<b>604</b>

## 17 Auskleiden und Abdichten

<b>17.1 Auskleidewerkstoffe</b>	<b>606</b>	<b>17.2 Auskleidetechniken</b>	<b>609</b>
---------------------------------	------------	--------------------------------	------------

## 18 Technik und Herstellung von Kunststofffenstern

<b>18.1 Fenstersysteme und ihre Elemente</b>	<b>614</b>	<b>18.3 Montage und Befestigung von Fenstersystemen</b>	<b>636</b>
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 Maßbezeichnungen von Fenstern	623		
18.1.4 Fensterbeschläge	625	<b>18.4 Reparatur und Wartung von Fenstersystemen</b>	<b>643</b>
<b>18.2 Herstellung von Fensterrahmen</b>	<b>627</b>	18.4.1 Beseitigung von Oberflächenschäden	643
18.2.1 Profilschnitt und -bearbeitung	629	18.4.2 Wartung der Fenster	643
18.2.2 Verbinden der Profilschnitte	631		
18.2.3 Klotzung und Dichtung der Scheibe	633		