

# Kunststofftechnik leicht gemacht

Werkstoffe - Verarbeitung - Werkzeuggestaltung - Kostenkalkulation - Nachbearbeitung - Fügeverfahren -  
Materialauswahl - Konstruktionsregeln - Prozessoptimierung - Fehlerbehebung

Bearbeitet von  
Ulf Bruder

1. Auflage 2016. Buch. 378 S. Hardcover

ISBN 978 3 446 44957 2

Format (B x L): 19,7 x 27,1 cm

Gewicht: 1047 g

[Weitere Fachgebiete > Technik > Verfahrenstechnik, Chemieingenieurwesen,  
Lebensmitteltechnik > Technologie der Kunststoffe und Polymere](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

The logo for beck-shop.de features the text 'beck-shop.de' in a bold, red, sans-serif font. Above the 'i' in 'shop' are three red dots of varying sizes, arranged in a slight arc. Below the main text, the words 'DIE FACHBUCHHANDLUNG' are written in a smaller, red, all-caps, sans-serif font.

**beck-shop.de**  
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung [beck-shop.de](http://beck-shop.de) ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.



Leseprobe

Ulf Bruder

Kunststofftechnik leicht gemacht

Werkstoffe – Verarbeitung – Werkzeuggestaltung – Kostenkalkulation –  
Nachbearbeitung - Fügeverfahren – Materialauswahl –  
Konstruktionsregeln – Prozessoptimierung – Fehlerbehebung

ISBN (Buch): 978-3-446-44957-2

ISBN (E-Book): 978-3-446-44981-7

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44957-2>

sowie im Buchhandel.





**Bleiben Sie auf dem Laufenden!**

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

**[www.hanser-fachbuch.de/newsletter](http://www.hanser-fachbuch.de/newsletter)**

Alle in diesen Daten enthaltenen Berechnungen bzw. Angaben wurden nach bestem Wissen dargestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesen Daten enthaltenen Angaben mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden.

Bruder Consulting AB, Schweden, übernimmt infolgedessen keine Verantwortung und wird keine darausfolgenden Ansprüche oder sonstige Haftung übernehmen, die aus irgendeiner Weise aus der Benutzung dieser Berechnungen oder Angaben oder Teilen daraus entsteht.

## **Die Internet-Plattform für Entscheider!**

**Exklusiv:** Das Online-Archiv der Zeitschrift Kunststoffe!

**Richtungsweisend:** Fach- und Brancheninformationen stets top-aktuell!

**Informativ:** News, wichtige Termine, Bookshop, neue Produkte und der Stellenmarkt der Kunststoffindustrie

***Kunststoffe.de***

Ulf Bruder

# **Kunststofftechnik leicht gemacht**

HANSER

Der Autor:

*Ulf Bruder*, Barkassgatan 9, SE-371 32 Karlskrona, Schweden

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen dargestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Darstellungen und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Darstellungen oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2016 Carl Hanser Verlag München

[www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

Lektorat: Ulrike Wittmann

Übersetzung: Dr.-Ing. Harald Sambale, München

Herstellung: Jörg Strohbach

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, [www.rebranding.de](http://www.rebranding.de), München

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell

Druck und Bindung: FIRMENGRUPPE APPL, aprinta druck GmbH, Wemding

Printed in Germany

ISBN: 978-3-446-44957-2

E-Book ISBN: 978-3-446-44981-7

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>XVII</b>	
<b>Polymere und Kunststoffe</b> .....	<b>1</b>	<b>KAPITEL 1</b>
1.1 Duroplaste .....	3	
1.2 Thermoplaste .....	4	
1.3 Amorphe und teilkristalline Kunststoffe .....	5	
<b>Standardkunststoffe</b> .....	<b>7</b>	<b>KAPITEL 2</b>
2.1 Polyethylen (PE) .....	7	
2.1.1 Einteilung .....	8	
2.1.2 Eigenschaften von Polyethylen .....	8	
2.1.3 Recycling .....	9	
2.1.4 Anwendungsgebiete .....	9	
2.2 Polypropylen (PP) .....	11	
2.2.1 Eigenschaften von Polypropylen .....	12	
2.2.2 Recycling .....	13	
2.3 Polyvinylchlorid (PVC) .....	13	
2.3.1 Eigenschaften von PVC .....	14	
2.3.2 Recycling .....	14	
2.4 Polystyrol (PS) .....	15	
2.4.1 Einteilung .....	16	
2.4.2 Eigenschaften von Polystyrol .....	16	
2.4.3 Recycling .....	17	
2.4.4 Anwendungsgebiete .....	17	
2.5 Styrol-Acrylnitril (SAN) .....	17	
2.6 Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) .....	18	
2.6.1 ABS Blends .....	19	
2.6.2 Eigenschaften von ABS .....	19	
2.6.3 Recycling .....	19	
2.6.4 Anwendungsgebiete .....	20	
2.7 Polymethylmethacrylat (PMMA) .....	21	
2.7.1 Eigenschaften von PMMA .....	22	
2.7.2 Recycling .....	22	
2.7.3 Anwendungsgebiete .....	22	
<b>Technische Kunststoffe</b> .....	<b>23</b>	<b>KAPITEL 3</b>
3.1 Polyamid (Nylon) .....	23	
3.1.1 Einteilung .....	23	
3.1.2 Eigenschaften von Polyamid .....	25	
3.1.3 Recycling .....	25	
3.1.4 Anwendungsgebiete .....	25	



3.2	POM (Polyoxymethylen) .....	26
3.2.1	Eigenschaften von POM .....	27
3.2.2	Recycling .....	28
3.2.3	Anwendungsgebiete .....	28
3.3	Polyester .....	29
3.3.1	Eigenschaften von PBT und PET .....	31
3.3.2	Recycling .....	31
3.3.3	Anwendungsgebiete .....	31
3.4	Polycarbonat .....	33
3.4.1	Eigenschaften von Polycarbonat .....	34
3.4.2	Recycling .....	34
3.4.3	Anwendungsgebiete .....	34
<b>KAPITEL 4</b>	<b>Thermoplastische Elastomere .....</b>	<b>36</b>
4.1	TPE-O .....	36
4.1.1	Eigenschaften von TPE-O .....	36
4.1.2	Anwendungsbereiche .....	37
4.2	TPE-S .....	38
4.2.1	Eigenschaften von TPE-S .....	38
4.2.2	Anwendungsbereiche .....	39
4.3	TPE-V .....	39
4.3.1	Eigenschaften von TPE-V .....	40
4.3.2	Anwendungsbereiche .....	40
4.4	TPE-U .....	41
4.4.1	Eigenschaften von TPE-U .....	41
4.4.2	Anwendungsbereiche .....	42
4.5	TPE-E .....	42
4.5.1	Eigenschaften von TPE-E .....	42
4.5.2	Anwendungsbereiche .....	43
4.6	TPE-A .....	44
4.6.1	Eigenschaften von TPE-A .....	44
4.6.2	Anwendungsbereiche .....	45
<b>KAPITEL 5</b>	<b>Hochleistungspolymerer .....</b>	<b>46</b>
5.1	Hochleistungsthermoplaste .....	46
5.1.1	Recycling .....	47
5.2	Fluorpolymere .....	47
5.2.1	Eigenschaften von PTFE .....	48
5.2.2	Anwendungsbereiche .....	48
5.3	Hochleistungs-Polyamid – PPA .....	49
5.3.1	Eigenschaften von PPA .....	49
5.3.2	Anwendungsbereiche .....	50
5.4	Flüssigkristalline Polymere – LCP .....	50
5.4.1	Eigenschaften von LCP .....	50
5.4.2	Anwendungsbereiche .....	51

5.5	Polyphenylensulfid – PPS .....	52	
5.5.1	Eigenschaften von PPS .....	52	
5.5.2	Anwendungsbereiche .....	52	
5.6	Polyetheretherketon – PEEK .....	53	
5.6.1	Eigenschaften von PEEK .....	53	
5.6.2	Anwendungsbereiche .....	54	
5.7	Polyetherimid – PEI .....	54	
5.7.1	Eigenschaften von PEI .....	55	
5.7.2	Anwendungsbereiche .....	55	
5.8	Polysulfon – PSU .....	56	
5.8.1	Eigenschaften von PSU .....	56	
5.8.2	Anwendungsbereiche .....	57	
5.9	Polyphenylsulfon – PPSU .....	57	
5.9.1	Eigenschaften von PPSU .....	57	
5.9.2	Anwendungsbereiche .....	58	
	<b>Biokunststoffe und Biokomposite .....</b>	<b>59</b>	<b>KAPITEL 6</b>
6.1	Definition .....	59	
6.1.1	Was bedeutet Biokunststoff? .....	60	
6.1.2	Markt .....	60	
6.1.3	Produktion und Einsatz von Biokunststoffen .....	61	
6.2	Biokunststoffe .....	62	
6.3	Biopolymere .....	62	
6.4	Polymere auf biologischer Basis: Biopolyester .....	64	
6.5	Polymere auf biologischer Basis: Biopolyamide .....	66	
6.6	Biopolymere auf Basis von Mikroorganismen .....	67	
6.7	Bioethanol oder Biomethanol .....	67	
6.8	Biokomposite .....	68	
6.9	Weitere Information zu Biokunststoffen .....	69	
	<b>Kunststoffe und Umwelt .....</b>	<b>70</b>	<b>KAPITEL 7</b>
7.1	Kunststoff ist klimafreundlich und spart Energie .....	70	
7.2	Auswirkungen der Umwelt auf Kunststoffe .....	72	
7.3	Recycling von Kunststoffen .....	73	
7.3.1	Kunststoff-Recycling in der EU .....	74	
	<b>Modifizierung von Polymeren .....</b>	<b>76</b>	<b>KAPITEL 8</b>
8.1	Polymerisation .....	76	
8.2	Additive .....	78	
8.2.1	Steifigkeit und Zugfestigkeit .....	79	
8.2.2	Oberflächenhärte .....	79	
8.2.3	Verschleißfestigkeit .....	79	
8.2.4	Zähigkeit .....	80	

8.3	Physikalische Eigenschaften .....	80
8.3.1	Erscheinungsbild .....	80
8.3.2	Kristallinität .....	81
8.3.3	Witterungsbeständigkeit .....	81
8.3.4	Reibungsverhalten .....	82
8.3.5	Dichte .....	82
8.4	Chemische Eigenschaften .....	83
8.4.1	Barriereigenschaften .....	83
8.4.2	Oxidationsbeständigkeit .....	83
8.4.3	Hydrolysebeständigkeit .....	84
8.5	Elektrische Eigenschaften .....	84
8.6	Thermische Eigenschaften .....	85
8.6.1	Wärmestabilisierung .....	85
8.6.2	Wärmeformbeständigkeit .....	86
8.6.3	Einstufung des Brandverhaltens .....	86
8.7	Materialpreis .....	87
<b>KAPITEL 9</b>	<b>Materialdaten und Messgrößen .....</b>	<b>88</b>
9.1	Zugfestigkeit und Steifigkeit .....	89
9.2	Schlagzähigkeit .....	92
9.3	Maximale Einsatztemperatur .....	93
9.3.1	Dauergebrauchstemperatur .....	93
9.3.2	Wärmeformbeständigkeit .....	93
9.4	Prüfung des Brandverhaltens .....	94
9.4.1	Brennbarkeitsklasse HB .....	95
9.4.2	Brennbarkeitsklasse V .....	95
9.5	Elektrische Eigenschaften .....	96
9.6	Fließeigenschaften: Schmelzindex .....	97
9.7	Schwindung .....	97
<b>KAPITEL 10</b>	<b>Materialdatenbanken im Internet .....</b>	<b>98</b>
10.1	CAMPUS .....	98
10.1.1	Eigenschaften von CAMPUS 5.2 .....	99
10.2	Material Data Center .....	99
10.2.1	Eigenschaften des Material Data Center .....	100
10.3	Prospector Plastics Database .....	100
10.3.1	Eigenschaften der Prospector Plastics Database .....	101
<b>KAPITEL 11</b>	<b>Prüfverfahren für Kunststoff-Rohstoffe und Formteile .....</b>	<b>102</b>
11.1	Qualitätskontrolle bei der Herstellung des Rohstoffs .....	102
11.2	Visuelle Qualitätskontrolle von Kunststoffgranulaten .....	103
11.3	Visuelle Prüfung von Kunststoffteilen .....	104
11.4	Prüfungen, die der Spritzgießer durchführen kann .....	105
11.5	Spezielle Prüfverfahren .....	107

<b>Spritzgießverfahren</b> .....	<b>110</b>	<b>KAPITEL 12</b>
12.1 Geschichte .....	110	
12.2 Eigenschaften .....	111	
12.2.1 Einschränkungen .....	111	
12.3 Die Spritzgießmaschine .....	112	
12.3.1 Einspritzeinheit .....	112	
12.3.2 Schließeinheit .....	113	
12.3.3 Spritzgießzyklus .....	114	
12.4 Alternative Spritzgießverfahren .....	115	
12.4.1 Mehrkomponenten-Spritzgießen .....	115	
12.4.2 Gas- oder Wasser-Injektion .....	116	
<b>Nachbearbeitungsverfahren</b> .....	<b>117</b>	<b>KAPITEL 13</b>
13.1 Oberflächenbehandlung von Formteilen .....	117	
13.1.1 Bedrucken .....	117	
13.1.2 Heißprägen .....	118	
13.1.3 Tampondruck .....	119	
13.1.4 Siebdruck .....	119	
13.1.5 IMD: In-Mould-Dekorieren .....	120	
13.1.6 Lasermarkierung .....	121	
13.1.7 Lackierung .....	121	
13.1.8 Metallisierung/Verchromung .....	122	
<b>Verschiedene Bauarten von Werkzeugen</b> .....	<b>123</b>	<b>KAPITEL 14</b>
14.1 Zweiplattenwerkzeuge .....	123	
14.2 Dreiplattenwerkzeuge .....	124	
14.3 Schieberwerkzeuge .....	124	
14.4 Werkzeuge mit rotierenden Kernen .....	125	
14.5 Etagenwerkzeuge .....	125	
14.6 Werkzeuge mit Auswerfern an der festen Werkzeughälfte .....	126	
14.7 Familienwerkzeuge .....	126	
14.8 Mehrkomponenten-Werkzeuge .....	127	
14.9 Werkzeuge mit Schmelzkernen .....	128	
<b>Aufbau von Werkzeugen</b> .....	<b>129</b>	<b>KAPITEL 15</b>
15.1 Die Aufgaben des Werkzeugs .....	130	
15.2 Angussysteme - Kaltkanal .....	130	
15.3 Angussysteme - Heißkanal .....	132	
15.4 Pfropfenfänger/Angusszieher .....	133	
15.5 Temperier- und Kühlsysteme .....	134	
15.6 Belüftungssysteme .....	136	
15.7 Auswerfersysteme .....	137	
15.8 Entformungsschrägen .....	138	

<b>KAPITEL 16</b>	<b>Werkzeuggestaltung und Produktqualität</b>	<b>139</b>
16.1	Durch das Werkzeug verursachte Probleme	139
16.1.1	Zu schwache Werkzeugplatten	139
16.1.2	Fehlerhafte Auslegung von Anguss und Düse	140
16.1.3	Fehlerhafte Auslegung der Angusskanäle	141
16.1.4	Fehlerhafte Auslegung bzw. Positionierung oder Fehlen des Pfropfenfängers	141
16.1.5	Fehlerhafte Auslegung des Anschnitts	142
16.1.6	Fehlerhafte Entlüftung	143
16.1.7	Fehlerhafte Regelung der Werkzeugtemperatur	144
<b>KAPITEL 17</b>	<b>Prototypenwerkzeuge und Analyse des Füllvorgangs</b>	<b>145</b>
17.1	Prototypenwerkzeuge	145
17.2	Analyse des Füllvorgangs	146
17.2.1	Analyse des Füllvorgangs	146
17.3	Arbeitsablauf	147
17.3.1	Gitternetzmodell	147
17.3.2	Werkstoffauswahl	148
17.3.3	Verfahrensparameter	148
17.3.4	Auswahl des Anschnittpunkts	148
17.3.5	Simulation	149
17.3.6	Ergebnisse der Simulation	149
17.3.7	Füllverlauf	150
17.3.8	Druckverteilung	150
17.3.9	Schließkraft	150
17.3.10	Kühlzeit	151
17.3.11	Temperaturregelung	151
17.3.12	Schwindung und Verzug	151
17.3.13	Glasfaserorientierung	152
17.3.14	Analyse des Verzugs	152
17.3.15	Position des Anschnitts	152
17.3.16	Materialwechsel	153
17.3.17	Simulations-Software	153
<b>KAPITEL 18</b>	<b>Rapid Prototyping und Additive Fertigungsverfahren</b>	<b>154</b>
18.1	Prototypen	154
18.2	Rapid Prototyping (RP)	155
18.2.1	SLA – Stereolithographie	156
18.2.2	SLS – Selektives Laser Sintern	159
18.2.3	FDM – Fused Deposition Modeling	161
18.2.4	3D-Drucken	162
18.2.5	3D-Drucker	163
18.2.6	PolyJet	164
18.3	Generative Fertigung (Additive Manufacturing)	166

<b>Kostenberechnungen für Formteile</b> .....	<b>168</b>	<b>KAPITEL 19</b>
19.1 Berechnung der Bauteilkosten .....	169	
19.2 Szenarien Bauteilkosten .....	173	
19.3 Kostenvergleich .....	174	
<b>Extrusion</b> .....	<b>177</b>	<b>KAPITEL 20</b>
20.1 Der Extrusionsprozess .....	177	
20.1.1 Vorteile (+) und Grenzen (-) .....	177	
20.2 Materialien für die Extrusion .....	179	
20.3 Die Auslegung des Extruders .....	180	
20.3.1 Der Zylinder .....	180	
20.3.2 Einschneckenextruder .....	181	
20.3.3 Barrierschnecken .....	181	
20.3.4 Parallele Doppelschneckenextruder .....	182	
20.3.5 Konische Doppelschneckenextruder .....	182	
20.3.6 Rotationsrichtung .....	183	
20.3.7 Vergleich von Einschnecken- und Doppelschnecken- extrudern .....	183	
20.3.8 Werkzeug/Düse .....	184	
20.3.9 Kalibrierung .....	184	
20.3.10 Korrugatoren .....	185	
20.3.11 Kühlung .....	185	
20.3.12 Abzug .....	186	
20.3.13 Kennzeichnung .....	186	
20.3.14 Nachbearbeitung .....	187	
20.3.15 Trennen .....	187	
20.3.16 Wickeln .....	188	
20.4 Extrusionsverfahren .....	188	
20.4.1 Extrusion mit geradem Werkzeug .....	189	
20.4.2 Extrusion mit Umlenk-Werkzeug .....	189	
20.4.3 Extrusion von Platten .....	190	
20.4.4 Coextrusion .....	191	
20.4.5 Folienblasen .....	191	
20.4.5.1 Vorteile (+) und Grenzen (-) des Folienblasens	192	
20.4.6 Kabelherstellung .....	193	
20.4.7 Monofilamente .....	194	
20.4.8 Compoundierung .....	195	
20.5 Gestaltung von extrudierten Produkten .....	196	
20.5.1 Verrippung, Versteifung .....	197	
20.5.2 Hohlräume .....	197	
20.5.3 Dichtlippe .....	197	
20.5.4 Scharnier .....	198	
20.5.5 Führungen .....	198	
20.5.6 Gleitverbindung .....	198	
20.5.7 Schnappverbindung .....	199	
20.5.8 Balg .....	199	
20.5.9 Insert/Verstärkung .....	199	

	20.5.10	Reibung an der Oberfläche .....	200
	20.5.11	Bedrucken/Stempeln .....	200
	20.5.12	Dekoration der Oberfläche .....	200
	20.5.13	Seitliche Löcher .....	201
	20.5.14	Unregelmäßige Löcher .....	201
	20.5.15	Korugatoren .....	201
	20.5.16	Spiralisierung .....	202
	20.5.17	Schäumen .....	202
	20.5.18	Extrudierte Schraubenlöcher .....	202
	20.5.19	Muffen und Heizelementschweißen .....	203
<b>KAPITEL 21</b>		<b>Alternative Verarbeitungsmethoden für Thermoplaste .....</b>	<b>204</b>
	21.1	Blasformen .....	204
	21.2	Rotationsformen .....	206
	21.3	Vakuumformen .....	207
<b>KAPITEL 22</b>		<b>Vorgehensweise bei der Materialauswahl .....</b>	<b>209</b>
	22.1	Wie wählen Sie das richtige Material für Ihr Entwicklungsprojekt?	209
	22.2	Entwicklungskooperation .....	210
	22.3	Festlegung des Anforderungsprofils .....	210
	22.4	Muss-Anforderungen .....	211
	22.5	Kann-Anforderungen .....	212
	22.6	Erstellung einer detaillierten Kostenanalyse .....	214
	22.7	Erstellung eines aussagekräftigen Prüfprogramms .....	215
<b>KAPITEL 23</b>		<b>Anforderungen und Spezifikation von Kunststoffprodukten ..</b>	<b>216</b>
	23.1	Hintergrundinformationen .....	216
	23.2	Losgröße .....	217
	23.3	Formteilgröße .....	218
	23.4	Toleranzanforderungen .....	218
	23.5	Gestaltung des Formteils .....	220
	23.6	Montage-Anforderungen .....	223
	23.7	Mechanische Belastung .....	223
	23.8	Chemische Beständigkeit .....	224
	23.9	Elektrische Eigenschaften .....	225
	23.10	Umweltauswirkungen .....	226
	23.11	Farbe .....	227
	23.12	Oberflächeneigenschaften .....	228
	23.13	Sonstige Eigenschaften .....	230
	23.14	Gesetzliche Anforderungen .....	231
	23.15	Anforderungen des Recyclings .....	232
	23.16	Kostenanforderungen .....	233

23.17	Anforderungsprofil: Checkliste .....	234
23.17.1	Hintergrundinformation .....	234
23.17.2	Batchgröße .....	235
23.17.3	Formteilgröße .....	235
23.17.4	Toleranzanforderungen .....	235
23.17.5	Formteilgestaltung .....	235
23.17.6	Montage-Anforderungen .....	235
23.17.7	Mechanische Belastung .....	235
23.17.8	Chemische Beständigkeit .....	235
23.17.9	Elektrische Eigenschaften .....	236
23.17.10	Umweltauswirkungen .....	236
23.17.11	Farbe .....	236
23.17.12	Oberflächeneigenschaften .....	236
23.17.13	Sonstige Eigenschaften .....	237
23.17.14	Gesetzliche Anforderungen .....	237
23.17.15	Recycling .....	237
23.17.16	Kosten .....	237

## **Konstruktionsregeln für thermoplastische Formteile** ..... **238**      **KAPITEL 24**

24.1	Regel 1: Kunststoffe sind keine Metalle .....	239
24.2	Regel 2: Berücksichtigung der besonderen Eigenschaften von Kunststoffen .....	240
24.2.1	Anisotropes Verhalten .....	241
24.2.2	Temperaturabhängiges Verhalten .....	241
24.2.3	Zeitabhängige Spannungs-Dehnungs-Kurve .....	242
	24.2.3.1 Kriechen .....	242
	24.2.3.2 Relaxation .....	242
24.2.4	Geschwindigkeitsabhängige Eigenschaften .....	243
24.2.5	Umweltabhängige Eigenschaften .....	244
24.2.6	Einfache Bauteilauslegung .....	244
24.2.7	Einfache Einfärbung .....	244
24.2.8	Einfache Montage .....	245
24.2.9	Recycling .....	245
24.3	Regel 3: Konstruieren im Hinblick auf das zukünftige Recycling ..	246
24.3.1	Zerlegung .....	246
24.3.2	Wiederverwendete Materialien .....	248
24.3.3	Kennzeichnung .....	248
24.3.4	Reinigung .....	249
24.4	Regel 4: Integration mehrerer Funktionen in einem Bauteil .....	249
24.5	Regel 5: Einhaltung einer gleichmäßigen Wanddicke .....	251
24.6	Regel 6: Vermeidung von scharfen Kanten .....	252
24.7	Regel 7: Verwendung von Rippen zur Erhöhung der Steifigkeit ...	254
24.7.1	Einschränkungen bei der Gestaltung von Rippen .....	254
24.7.2	Materialsparende Konstruktion .....	255
24.7.3	Vermeidung von Einfallstellen bei Rippen .....	255



24.8	Regel 8: Sorgfältige Positionierung und Dimensionierung des Anschnitts	255
24.8.1	Bindenähte	257
24.9	Regel 9: Vermeiden von engen Toleranzen	258
24.10	Regel 10: Auswahl eines geeigneten Montageverfahrens	259
<b>KAPITEL 25</b>	<b>Verbindungstechniken für Thermoplaste</b>	<b>260</b>
25.1	Verbindungstechniken, die die Demontage erleichtern	260
25.2	Integrierte Schnappverbindungen	261
25.3	Dauerhafte Verbindungstechniken	262
25.4	Ultraschallschweißen	262
25.5	Vibrationsschweißen	263
25.6	Rotationsschweißen	264
25.7	Heizelementschweißen	265
25.8	Infrarotschweißen	266
25.9	Laserschweißen	266
25.10	Nieten	268
25.11	Kleben	269
<b>KAPITEL 26</b>	<b>Der Spritzgießprozess</b>	<b>270</b>
26.1	Analyse des Spritzgießprozesses	270
26.2	Kontaktangaben	272
26.3	Informationsbereich	272
26.4	Materialinformation	273
26.5	Angaben zur Maschine	274
26.6	Angaben zum Werkzeug	276
26.7	Trocknung	278
26.8	Angaben zur Verarbeitung	280
26.9	Temperaturen	281
26.10	Druck, Einspritzgeschwindigkeit und Schneckendrehzahl	286
26.11	Nachdruck	287
26.12	Einspritzphase	289
26.13	Schneckendrehzahl	290
26.14	Zeit- und Wegeinstellungen	292
<b>KAPITEL 27</b>	<b>Prozessparameter für das Spritzgießen</b>	<b>297</b>
<b>KAPITEL 28</b>	<b>Problemlösung und Qualitätsmanagement</b>	<b>301</b>
28.1	Höhere Qualitätsansprüche	301
28.2	Analytische Fehlerbehebung	301
28.2.1	Definition des Problems	302
28.2.2	Definition der Abweichung	302

28.3	Eingrenzung eines Problems .....	303
28.3.1	Einteilung von Problemen .....	304
28.3.2	Problemanalyse .....	306
28.3.3	Brainstorming .....	307
28.3.4	Überprüfung der Ursachen .....	308
28.3.5	Planung der zu ergreifenden Maßnahmen .....	308
28.4	Statistische Versuchsplanung (Statistical Design of Experiments - DOE) .....	309
28.4.1	Faktorielle Versuchsplanung .....	309
28.5	Fehler- Möglichkeits- und Einflussanalyse - FMEA .....	312
28.5.1	Allgemeine Konzepte der FMEA .....	314

## **Fehlersuche - Ursachen und Auswirkungen .....** **316**

## **KAPITEL 29**

29.1	Probleme beim Spritzgießen .....	316
29.2	Füllgrad .....	318
29.2.1	Teilfüllungen - Das Formteil ist nicht vollständig gefüllt .....	318
29.2.2	Gratbildung .....	319
29.2.3	Einfallstellen .....	319
29.2.4	Hohlräume oder Poren .....	320
29.3	Oberflächenfehler .....	321
29.3.1	Brandflecken .....	321
29.3.1.1	Entfärbung, dunkle Schlieren oder Materialabbau .....	321
29.3.1.2	Schwarze Stippen .....	321
29.3.1.3	Spliss oder Silberschlieren (an manchen Stellen der Oberfläche) .....	322
29.3.1.4	Diesel-Effekt - eingeschlossene Luft .....	323
29.3.2	Spliss oder Silberschlieren (auf der gesamten Oberfläche) .....	324
29.3.3	Farbschlieren - Schlechte Farbverteilung .....	324
29.3.4	Farbschlieren - Ungünstige Pigmentorientierung .....	325
29.3.5	Oberflächenglanz - Matte und glänzende Oberflächenabweichungen .....	325
29.3.6	Oberflächenglanz - Corona-Effekt .....	326
29.3.7	Spliss, Streifen und Blasen .....	326
29.3.8	Glasfaserschlieren .....	327
29.3.9	Bindenähte .....	327
29.3.10	Freistrahlbildung .....	328
29.3.11	Delaminierung .....	329
29.3.12	Schallplattenrillen (Orangenschalenhauteffekt) .....	329
29.3.13	Kalter Pfropfen .....	330
29.3.14	Auswerfermarkierungen .....	330
29.3.15	Ölflecken - braune oder schwarze Stippen .....	331
29.3.16	Wasserflecken .....	331
29.4	Geringe mechanische Festigkeit .....	332
29.4.1	Blasen oder Hohlräume im Inneren des Formteils .....	332
29.4.2	Risse .....	332
29.4.3	Unaufgeschmolzenes Material .....	333

29.4.4	Versprödung .....	334
29.4.5	Rissbildung .....	334
29.4.6	Probleme mit Mahlgut .....	335
29.5	Probleme mit der Maßhaltigkeit .....	336
29.5.1	Fehlerhafte Schwindung .....	336
29.5.2	Unrealistische Toleranzen .....	337
29.5.3	Verzug .....	338
29.6	Produktionsprobleme .....	339
29.6.1	Formteil haftet in der Kavität .....	339
29.6.2	Formteil haftet auf dem Kern .....	339
29.6.3	Formteil haftet an den Auswerferstiften .....	340
29.6.4	Anguss haftet im Werkzeug .....	341
29.6.5	Fadenbildung .....	342
<b>KAPITEL 30</b>	<b>Statistische Prozesskontrolle (SPC) .....</b>	<b>343</b>
30.1	Warum SPC? .....	343
30.2	Begriffe der SPC .....	344
30.2.1	Normalverteilung (Gauß-Verteilung) .....	344
30.3	Standardabweichungen .....	344
30.3.1	Einfache Standardabweichung .....	344
30.3.2	Sechsfache Standardabweichung (Six Sigma) .....	345
30.3.3	Regelgrenzen .....	345
30.3.4	Zielwert .....	347
30.3.5	Zielwert Zentrierung (Target Value Centering, TC) .....	348
30.3.6	Maschinenfähigkeit (Cm) .....	349
30.3.7	Maschinenfähigkeitsindex (CmK) .....	349
30.3.8	Prozessfähigkeit (Cp) .....	350
30.3.9	Prozessfähigkeitsindex (Cpk) .....	350
30.3.10	Sechs wichtige Faktoren .....	351
30.3.11	Maschinenfähigkeit .....	351
30.3.12	Prozessfähigkeit .....	352
30.4	Anwendung der SPC in der Praxis .....	352
30.4.1	Software .....	352
30.4.2	Prozessdatenüberwachung .....	353
<b>KAPITEL 31</b>	<b>Internetadressen .....</b>	<b>355</b>
	<b>Index .....</b>	<b>357</b>

# Vorwort

Seit vielen Jahren hatte ich die Idee, ein Buch über Spritzgießen zu schreiben, da ich mich mehr als 45 Jahre meines Berufslebens mit diesem Thema beschäftigt habe.

Als ich im Jahr 2009 in den Ruhestand trat, erhielt ich große Unterstützung durch meine Freunde Katarina Elnér-Haglund und Peter Schulz vom schwedischen Kunststoff-Magazin Plastforum. Sie baten mich, eine Reihe von Artikeln über Thermoplaste und deren Verarbeitung für diese Zeitschrift zu schreiben.

Zu dieser Zeit war ich auch an Ausbildungsprogrammen an der Lund University of Technology, der Königlichen Technischen Hochschule in Stockholm und bei einer Reihe von Industrieunternehmen in Schweden beteiligt. Im Rahmen dieser Tätigkeiten entstand dieses Buch.

Mein Ziel lag darin, so zu schreiben, dass jeder das Buch verstehen kann, unabhängig von seinem Vorwissen über Kunststoffe. Das Buch verfolgt einen praktischen Ansatz mit seinen zahlreichen Bildern und kann sowohl an Universitäten und in weiterführenden Schulen als auch in der betrieblichen Ausbildung und zum Selbststudium verwendet werden. In einigen Kapiteln gibt es Hinweise auf Excel-Arbeitsblätter, die von meiner Website kostenlos heruntergeladen werden können: [www.brucon.se](http://www.brucon.se).

Zusätzlich zu den oben genannten Personen geht mein herzlicher Dank an meine Frau Ingelöv, die große Geduld aufbrachte, wenn ich völlig in der „wunderbaren Welt der Kunststoffe“ verschwand und das Buch anschließend Korrektur gelesen hat; sowie an meinen Bruder Hans-Peter, der unzählige Stunden mit der Feinabstimmung der Bilder usw. verbracht hat; und an meinen Schwiegersohn Stefan Bruder, der den Inhalt des Buches geprüft hat und zahlreiche wertvolle Kommentare eingebracht hat.

Ich möchte auch meinem früheren Arbeitgeber DuPont Performance Polymers danken und vor allem meinen Freunden und ehemaligen Managern Björn Hedlund und Stewart Daykin, die mich bei meiner Karriere als Trainer förderten, bis ich mein Ziel und Traumjob des „Leiters der globalen technischen Ausbildung“ erreicht hatte. Sie haben ebenfalls mit vielen Informationen und zahlreichen wertvollen Bildern in diesem Buch beigetragen.

Ich möchte mich auch herzlich bei meinen Freunden und Geschäftspartnern bei allen Ausbildungsprogrammen in den letzten Jahren bedanken, die mich unterstützt haben und vielen wertvolle Anmerkungen, Informationen und Bilder zu diesem Buch beigetragen haben. Die vollständige Liste wäre sehr lang, aber einige von ihnen sind in Kapitel 31 in diesem Buch zu finden.

*Ulf Bruder*

Karlskrona, Schweden, Juni 2016

3) LDPE wird für das Folienblasen und die Extrusion verwendet.

Ein großer Teil des hergestellten Polyethylens wird für das Folienblasen verwendet. Wenn die Folie weich und flexibel ist, besteht sie entweder aus LDPE oder LLDPE. Wenn sie raschelt wie die kostenlosen Tüten im Supermarkt, besteht sie wahrscheinlich aus HDPE. LLDPE wird auch verwendet, um die Festigkeit von LDPE-Folien zu verbessern.



**Bild 2.7** Müllsäcke.

LDPE eignet sich hervorragend für das Folienblasen. Es ist das am häufigsten verwendete Material für Tüten, Kunststoffsäcke und Baufolien.



**Bild 2.8** Kabelummantelungen.

LDPE wird für die Extrusion von Ummantelungen für Hochspannungskabel verwendet.

4) PEX

Vernetztes Polyethylen wird hauptsächlich bei der Extrusion von Rohren verwendet. Die Vernetzung verbessert die Kriechbeständigkeit und die Eigenschaften bei hohen Temperaturen.



**Bild 2.9** Schläuche aus PEX widerstehen hohen Temperaturen (120 °C) und Drücken. Sie werden für die Warmwasserversorgung von Spül- oder Waschmaschinen eingesetzt.

Ethylen lässt sich auch mit polaren Monomeren copolymerisieren. Dies führt zu viskosen Produkten (z. B. Schmelzkleber), Folien mit hoher Festigkeit oder schlagzähem Hartschalen (z. B. Golfbälle).

Ein verbreitetes Copolymer ist EVA (Ethylen-Vinyl-Acetat). Durch Variation der Konzentration des Vinylacetats (VA) von 2,5 bis 95 % können die Eigenschaften beeinflusst werden, so dass eine Reihe von verschiedenen Materialtypen entstehen. Ein höherer VA-Gehalt erhöht die Transparenz und die Zähigkeit.

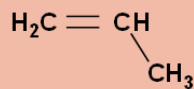
Klebstoffe, Teppichunterlagen, Kabelisierungen, Trägermaterialien für Farbmaterbatches, Stretchfolien und Beschichtungen für Pappe und Papier sind typische EVA-Anwendungen.

## 2.2 Polypropylen (PP)

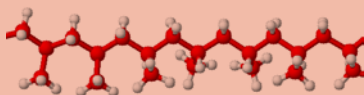
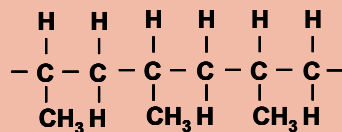


### Chemische Grundlagen:

PP hat eine einfache Struktur und besteht wie PE nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff. Es gehört ebenfalls zu den so genannten Polyolefinen. Polypropylen besteht aus einer Kette aus Kohlenstoffatomen, wobei jedes zweite Kohlenstoffatom mit zwei Wasserstoffatomen und jedes andere mit einem Wasserstoffatom und einer Methylgruppe verbunden ist. Die Strukturformel des Monomers wird wie folgend dargestellt:



Polypropylen kann graphisch wie folgt dargestellt werden:



Polypropylen ist ein teilkristalliner Kunststoff und wird üblicherweise als PP bezeichnet. nach LDPE ist PP mengenmäßig der zweitwichtigste Kunststoff auf dem Markt.

Polypropylen wurde 1954 von den beiden Forschern Ziegler und Natta fast gleichzeitig und unabhängig voneinander entdeckt. Im Jahr 1963 erhielten sie gemeinsam den Nobelpreis.

Das italienische Chemieunternehmen Montecatini brachte das Material im Jahr 1957 erstmals auf den Markt.

Die Polymerisation von Polypropylen kann sowohl die Kristallinität als auch die Größe der Moleküle beeinflussen. Es können auch Copolymere aus Polypropylen mit anderen Monomeren (z. B. Ethylen) hergestellt werden.

In Abhängigkeit von der Polymerisationsmethode kann Polypropylen als Homopolymer, Random-Copolymer oder Block-Copolymer auftreten. Polypropylen kann auch mit Elastomeren (beispielsweise EPDM) vermischt oder mit Talkum (Kreide) gefüllt bzw. mit Glasfasern verstärkt werden. Auf diese Weise lassen sich mehr verschiedene Typen mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften als mit jedem anderen Kunststoff erzeugen. Bestimmte Polypropylen-Typen können bei einer Dauertemperatur von 100 °C und bei Spitzentemperaturen von bis zu 140 °C eingesetzt werden. Daher können sie als technische Kunststoffe eingestuft werden.



## 2.7.1 Eigenschaften von PMMA

- + Sehr hohe Transparenz (98%)
- + Hohe Steifigkeit und Oberflächenhärte
- + Sehr gute UV-Beständigkeit
- + Gute optische Eigenschaften
- + für Implantate einsetzbar
- Hoher Wärmeausdehnungskoeffizient
- Kratzfestigkeit
- Geringe Spannungsrissbeständigkeit
- Lösemittelbeständigkeit
- Hohe Schmelzviskosität (Schwierigkeiten bei der Füllung dünnwandiger Formteile)

## 2.7.2 Recycling

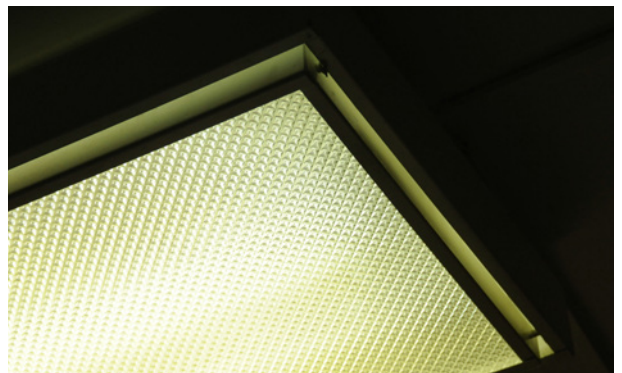
PMMA lässt sich leicht recyceln, als Kennzeichnung wird  $\text{> PMMA <}$  verwendet.

## 2.7.3 Anwendungsgebiete

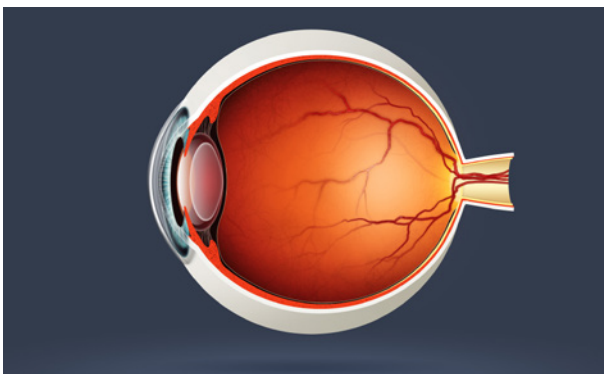
PMMA kann spritzgegossen und extrudiert werden. Halbzeuge aus PMMA lassen sich mit konventionellen Bearbeitungsmaschinen verarbeiten. Bei der Lasermarkierung hat PMMA Vorteile gegenüber Polycarbonat und Polystyrol.



**Bild 2.27** PMMA eignet sich sehr gut für reflektierende Bauteile.



**Bild 2.28** PMMA kommt vor allem in der Beleuchtungsindustrie, z. B. als Blende für Leuchtstoffröhren zum Einsatz.



**Bild 2.29** Künstliche Augenlinsen.  
PMMA ist in hohem Maße mit dem menschlichen Körper kompatibel und wird daher für Implantate verwendet. Aufgrund seiner extrem guten optischen Eigenschaften werden künstliche Linsen, die chirurgisch in das Auge eingesetzt werden, aus PMMA hergestellt.



**Bild 2.30** Sicherheitsglas in Sporthallen.  
Eishockey-Schutzverglasungen sind in der Regel aus PMMA, da das Material eine hohe Transparenz und eine ausreichende Zähigkeit hat.

# Technische Kunststoffe

## 3.1 Polyamid (Nylon)

Polyamid ist ein teilkristalliner technischer Kunststoff, die Kurzbezeichnung lautet PA. Es gibt verschiedene Arten von Polyamid, von denen PA6 und PA66 am häufigsten vorkommen. Polyamid war der erste technische Kunststoff, der auf den Markt gebracht wurde. Er ist auch mengenmäßig der wichtigste technische Kunststoff, da PA in der Automobilindustrie häufig eingesetzt wird.

Polyamid wurde von DuPont in den Vereinigten Staaten im Jahre 1934 erfunden und zunächst als Faser für Fallschirme und Damenstrümpfe unter dem Handelsnamen Nylon eingeführt.

Wenige Jahre später wurden PA-Typen für das Spritzgießen eingeführt. Nylon wurde ein allgemeiner Begriff; DuPont hat die Namensrechte verloren und vermarktet derzeit seine Polyamide unter dem Handelsnamen Zytel. Weitere bekannte Handelsnamen sind Ultramid von BASF, Durethan von Lanxess und Akulon von DSM.

### 3.1.1 Einteilung

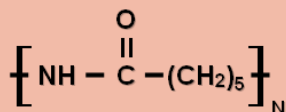
Bei der Weiterentwicklung von Polyamid konzentrierte man sich auf die Verbesserung der Hochtemperatureigenschaften und die Verringerung der Wasserabsorption. Dies hat neben PA6 und PA66 zu zahlreichen weiteren Varianten geführt. Die folgenden Typen sollten erwähnt werden: PA666, PA46, PA11, PA12 und PA612:

Vor rund zehn Jahren wurden aromatische „Hochleistungs-Polyamide“ eingeführt, die üblicherweise als PPA bezeichnet werden, eine Kurzbezeichnung für Polyphthalamid. Der neueste Trend sind „Bio-Polyamide“, die aus langkettigen Monomeren hergestellt werden, z. B. PA410, PA610, PA1010, PA10, PA11 und PA612.



#### Chemische Grundlagen:

Polyamid ist in vielen Varianten verfügbar. Die alphanumerischen Bezeichnungen, z. B. PA66, geben an, wie viele Kohlenstoffatome sich in den Molekülen befinden, die das Monomer bilden. PA6 ist der häufigste Polyamidtyp und hat die einfachste Struktur:





### 3.4.1 Eigenschaften von Polycarbonat

- + Kristallklar (Lichtdurchlässigkeit 89%)
- + Sehr hohe Schlagfestigkeit (bei niedrigen Temperaturen bis zu  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- + Hohe Einsatztemperatur (konstant  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $145\text{ }^{\circ}\text{C}$  kurzzeitige Spitzenbelastung)
- + Geringe Feuchtigkeitsaufnahme und gute Dimensionsstabilität
- + Geringere Schwindung als die meisten anderen Kunststoffe
- + Gute elektrische Eigenschaften
- + Selbstverlöschend nach Brandschutzklasse V-2 (mit Additiven V-0)
- + Für Lebensmittelkontakt zugelassene Typen verfügbar
- Hohe Neigung zur Spannungsrisssbildung unter konstanter Belastung
- Lösungsmittel können Bruch auslösen
- Abbau in Wasser bei über  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kann aber in der Spülmaschine gereinigt werden

### 3.4.2 Recycling

Das Materialrecycling wird bevorzugt, außerdem ist die Verbrennung zur Energiegewinnung möglich. Die Kennzeichnung lautet  $\text{> PC <}$ .

### 3.4.3 Anwendungsgebiete

Polycarbonat kann durch Spritzgießen und Extrusion, sowohl mit als auch ohne Glasfasern verarbeitet werden. PC-Platten können durch Thermoformen verarbeitet werden.



**Bild 3.26** Polycarbonat hat eine geringe chemische Beständigkeit, wie an diesen durch Essig verursachten Rissen in einer Salatschüssel zu erkennen ist.



**Bild 3.27** Extrudierte Rohre aus glasfaserverstärktem Polycarbonat sind steif und fest und können hohen Belastungen standhalten, wie das Paddel in diesem Bild zeigt.



**Bild 3.28** Die Verglasung für Autoscheinwerfer besteht aus Polycarbonat und wird mit einer dünnen Schicht aus Siloxan beschichtet, um die Kratzfestigkeit, den UV-Schutz und den Schutz vor Lösungsmitteln zu erhöhen.



**Bild 3.29** Polycarbonat ist sehr schlagfest und lackierbar, daher stellt es ein ausgezeichnetes Material für Motorradhelme dar. Das Visier ist ebenfalls aus Polycarbonat hergestellt.

## 6.5 Polymere auf biologischer Basis: Biopolyamide

In den letzten Jahren wurden langkettige Polyamide (LCPA), die auch als Bio-Polyamide oder grüne Polyamide bezeichnet werden, auf den Markt gebracht; beispielsweise PA410, PA610, PA1010, PA10, PA11, PA612, PA1012. Sie stellen eine Alternative zu PA12 auf Erdölbasis dar.

LCPA bestehen typischerweise aus nachwachsenden Rohstoffen, die aus Rizinusöl gewonnen werden. Dieses stammt aus dem Samen der tropischen Rizinuspflanze.

Zu den führenden Herstellern gehören DuPont (Handelsnamen: Zytel Long Chain und Zytel RS), BASF (Ultramid Balance), EMS (Grilamid), DSM (EcoPaXX), Arkema (Rilsan), Solvay (Technyl Exten) und Evonik (Vestamid Terra).

Im Vergleich zu Standard-Polyamiden wie PA6 und PA66 haben diese Materialien eine bessere Dimensionsstabilität, eine niedrigere Wasseraufnahme und eine bessere chemische Beständigkeit.

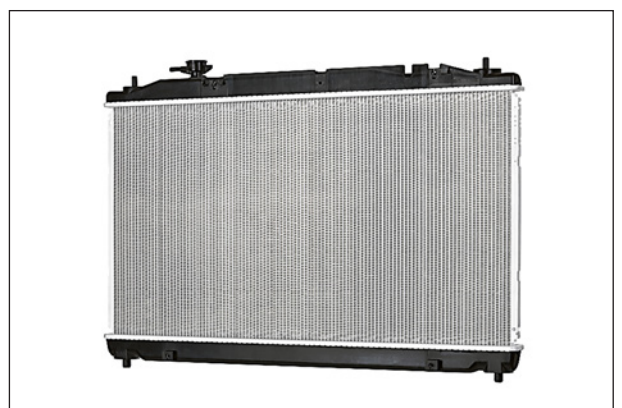


**Bild 6.9** Wunderbaum  
(*Ricinus communis*)



**Bild 6.10** Diese Gasrohrleitungen und Armaturen für Gasleitungen werden aus Rilsan PA11 für den Einsatz in Erdgasdrucksysteme mit Abmessungen bis zu 100 mm Durchmesser und Betriebsdrücke von bis zu 14 bar hergestellt. Dieses Material wird vollständig aus erneuerbaren Quellen erzeugt. [Quelle: Arkema]

**Bild 6.11** Dieses Panel für einen Fahrzeugkühler von DENSO Corp wird aus Zytel RS PA610 mit 60% nachwachsenden Rohstoffen hergestellt. Es hält sowohl der hohen Temperatur als auch der chemisch aggressiven Umgebung im Motorraum stand. Darüber hinaus ist es beständig gegenüber Feuchtigkeitsaufnahme. [Quelle: DuPont]





## 6.6 Biopolymere auf Basis von Mikroorganismen

PHA (Polyhydroxyalkanoat) ist ein lineares teilkristallines Polyester, das durch die bakterielle Fermentation von Zucker, Glucose oder Lipiden (Fette und fettähnliche Substanzen) hergestellt wird. Das Material wurde von ICI in den 1980er Jahren entwickelt, es gibt sehr wenige Hersteller auf dem Markt. Das Material hat eine gute Witterungsbeständigkeit und geringe Wasserdurchlässigkeit. Insgesamt hat es ähnliche Eigenschaften wie PP.



**Bild 6.12** PHA hat viele medizinische Anwendungen. PHA-Fasern können verwendet werden, um Wunden zu vernähen.

## 6.7 Bioethanol oder Biomethanol

PE kann auch aus erneuerbaren biobasierten Rohstoffen hergestellt werden. In den 1970er Jahren wurde in Indien ein wesentlicher Anteil der Ethanolproduktion zur Herstellung von PE, PVC und PS verwendet. In den 1980er Jahren begannen brasilianische Unternehmen mit der PE- und PVC-Herstellung auf Biobasis. Allerdings wurde die Produktion eingestellt, als in den frühen 1990er Jahren die Ölpreise fielen. Zwanzig Jahre später beginnt die Produktion nun wieder zuzunehmen.

Heute ist das brasilianische Unternehmen Braskem bei der Produktion von biobasiertem PE weltweit führend. Die industrielle Produktion begann im September 2010, mit Zuckerrohr als Rohstoff zur Produktion von Bioethanol, das in Ethylen umgewandelt wird und zur Herstellung von PE verwendet wird. Die Gesamtproduktion liegt derzeit bei rund 200 000 Tonnen, das entspricht 17 % des Markts für Biokunststoffe.

Bio-PE ist nicht biologisch abbaubar.

Weitere Standard-Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sind PP und PVC.

# Modifizierung von Polymeren

Dieses Kapitel beschreibt die Polymerisation von Thermoplasten und wie sich ihre Eigenschaften durch die Verwendung verschiedener Additive steuern lassen.

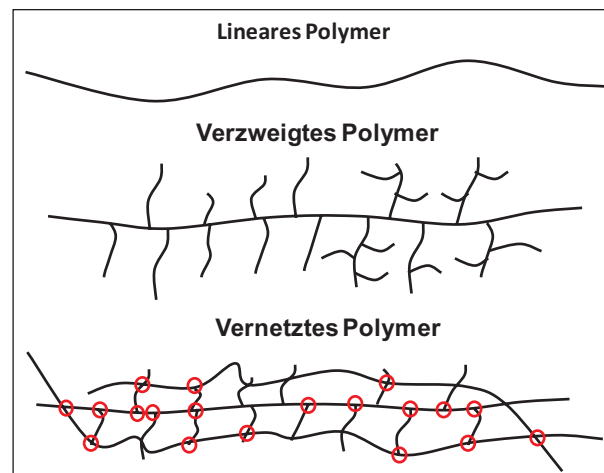
**Bild 8.1** 95% aller hergestellten Kunststoffe basieren auf Erdgas und Erdöl. Die restlichen 5% stammen aus erneuerbaren Quellen, das heißt aus Pflanzen. Im Jahr 2010 entfielen etwa 4% des gesamten Ölverbrauchs auf Kunststoffe. Die Anteile im Einzelnen:

- Heizung 35%
- Transport 29%
- Energieerzeugung 22%
- Kunststoffe 4%
- Kautschuk 2%
- Chemie und Medizin 1%
- Sonstige 7%



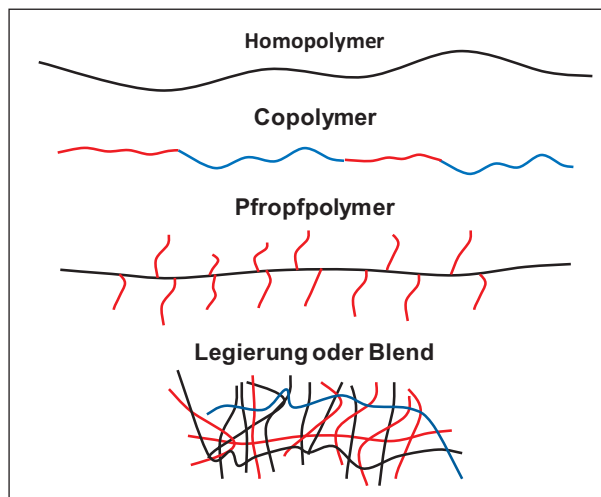
## 8.1 Polymerisation

Die Polymerisation von Monomeren, die durch Cracken von Erdöl oder Erdgas gewonnen werden, führt zu Polymeren (synthetischen Materialien), entweder Kunststoff oder Kautschuk. Die Art des Monomers bestimmt, welches Material entsteht, während das Polymerisationsverfahren selbst verschiedene Varianten der Molekülketten (linear oder verzweigt) erzeugen kann.



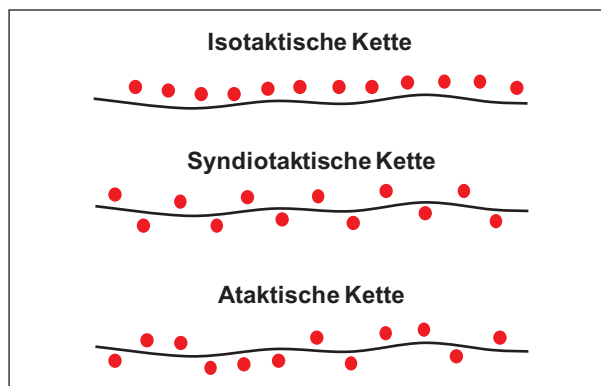
**Bild 8.2** Bei der Polymerisation von Ethylen können verschiedene Varianten von Polyethylen hergestellt werden. LLDPE besteht aus linearen Ketten (oben). LDPE hat eine verzweigte Kettenstruktur (Mitte). PEX hat vernetzte Ketten, das heißt, es treten Molekülbindungen zwischen den Ketten auf (unten).

Wenn ein Polymer aus einem einzigen Monomer hergestellt ist, wird es als Homopolymer bezeichnet. Wenn verschiedene Monomere in der Kette enthalten sind, heißt es Copolymer. POM und Polypropylen sind Kunststoffe, die in beiden Varianten auftreten können. Das Copolymer (das zweite Monomer) befindet sich hauptsächlich neben dem Hauptmonomer in der Kette. Im Fall von POM befinden sich etwa 40 Hauptmonomere zwischen jeder Copolymer-Gruppe. Das Copolymer kann auch als Seitenzweig der Hauptkette auftreten, dies wird als Pfropfcopolymer bezeichnet.



**Bild 8.3** Am oberen Bildrand ist die lineare Kette aus einem reinen Polymer, z. B. Polypropylen, dargestellt. Durch die Zugabe von Ethylen erhält man ein Polypropylen-Copolymer mit einer Blockstruktur gemäß der zweiten Kette von oben. Dieses Material hat eine viel bessere Schlagzähigkeit als normales Polypropylen. Durch die Zugabe des Kautschuk-Monomers EPDM erhält man ein Pfropfpolymer mit einer Kettenstruktur und ein Material mit extrem hoher Schlagzähigkeit. Ein Copolymer kann auch hergestellt werden, indem Granulate aus verschiedenen Polymeren vermischt werden. In diesem Fall wird das Material als Legierung oder Blend bezeichnet. ABS + PC ist ein Beispiel für diese Art von Copolymer.

Eine weitere Möglichkeit, das Polymer zu modifizieren ist, besteht darin zu steuern, wo die verschiedenen Moleküle sich in der Kette befinden (siehe Bild 8.4).



**Bild 8.4** Die Eigenschaften eines Polymers lassen sich in einem gewissen Umfang dadurch beeinflussen, wie ein bestimmtes Molekül in der Kette ausgerichtet ist. Die roten Kreise der beiden Ketten im oberen Bildbereich symbolisieren die  $-CH_3$ -Gruppen bei Polypropylen. Wenn alle  $-CH_3$ -Gruppen in der gleichen Richtung orientiert sind, wird dies als isotaktisch bezeichnet. Mit Hilfe eines so genannten Metallocen-Katalysators können die Gruppen im Polypropylen so orientiert werden, dass sie gleichmäßig in verschiedene Richtungen verteilt sind. In diesem Fall wird die Kette syndiotaktisch genannt. Bei Polystyrol tritt ein aromatisches Molekül mit 6 Kohlenstoffatomen in einem Ring auf (symbolisiert durch den roten Kreis in der unteren Kette). Die Verteilung und Ausrichtung dieser Moleküle in der Kette erfolgt zufällig. Eine solche Kette wird als ataktisch bezeichnet.

In den nachstehenden Tabellen mit Werten aus der Werkstoffdatenbank CAMPUS (siehe nächstes Kapitel) sind HDT-Werte für eine Reihe von thermoplastischen Kunststoffen zu finden. Achtung: Je nach Materialviskosität und Zusatzstoffen können Abweichungen von den angegebenen Werten auftreten.

**Tabelle 9.1** Wärmeformbeständigkeit von häufig verwendeten Kunststoffen.

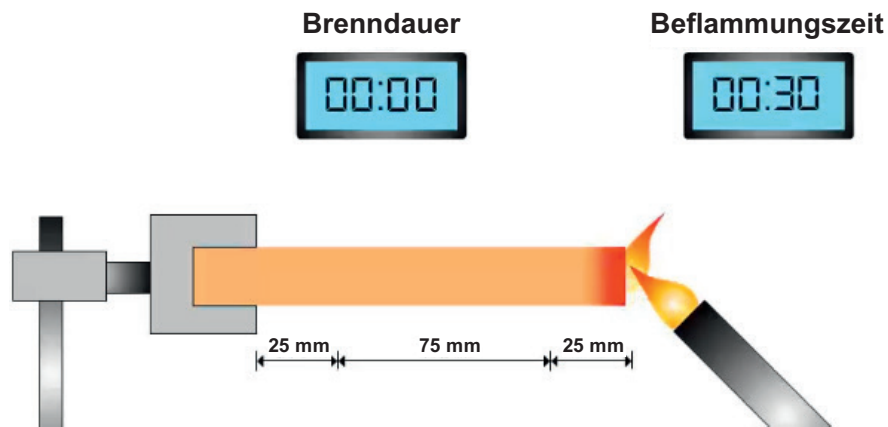
Kunststoff	HDT bei 0,45 MPa in °C	HDT bei 1,8 MPa in °C	Schmelzpunkt in °C
ABS	100	90	–
POM-Copolymer	160	104	166
POM-Homopolymer	160	95	178
HDPE, <i>Polyethylen</i>	75	44	130
PA 6	160	55	221
PA 6 + 30% Glasfasern	220	205	220
PA 66	200	70	262
PA 66 + 30% Glasfasern	250	260	263
PBT	180	60	225
PBT + 30% Glasfasern	220	205	225
PET	75	70	255
PET + 30% Glasfasern	245	224	252
PMMA	120	110	–
Polycarbonat	138	125	–
Polystyrol	90	80	–
PP, Polypropen	100	55	163
PP + 30% Glasfasern	160	145	163

Achtung! Die amorphen Materialien haben keinen Schmelzpunkt.

## 9.4 Prüfung des Brandverhaltens

Das internationale Prüfinstitut Underwriters Laboratories hat verschiedene Prüfungen entwickelt, um das Brandverhalten von Materialien zu ermitteln. Prüfkörper mit unterschiedlicher Dicke werden entweder horizontal oder vertikal angezündet. Dies wird als HB (= horizontal burning) oder V-2, V-1 oder V-0 (V = vertical burning) angegeben. Ein Material wird als feuerbeständig eingestuft, wenn es in einem gewissen Abstand (HB) und innerhalb einer bestimmten Zeitspanne selbst verlöscht. Bei den Prüfungen V-0 bis V-2 wird auch berücksichtigt, ob sich Tropfen bilden, die Baumwolle entzünden (siehe Bild 9.15 und Tabelle 9.2).

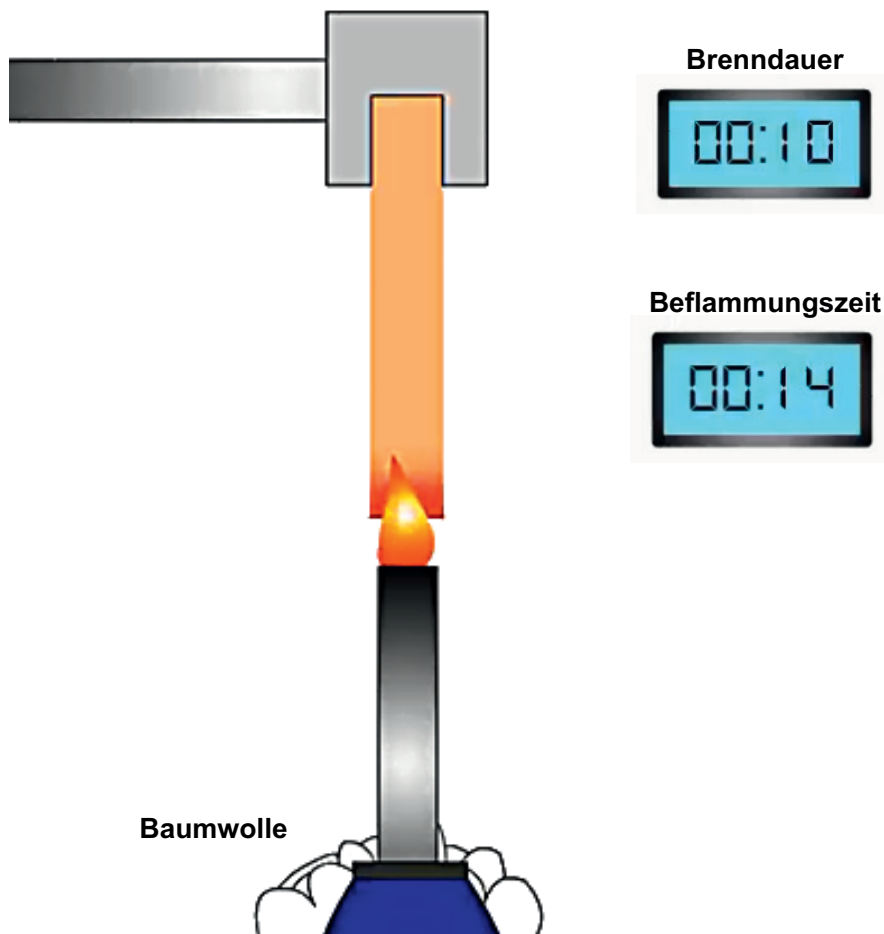
## 9.4.1 Brennbarkeitsklasse HB



**Bild 9.14** Die Flamme wirkt 30 Sekunden lang ein, bevor die Brenngeschwindigkeit gemessen wird. Für eine HB-Klassifizierung darf die zwischen zwei Punkten gemessene Brenngeschwindigkeit folgende Werte nicht überschreiten:

1. 40 mm/min für Prüfstäbe zwischen 3 und 13 mm
2. 75 mm/min für Prüfstäbe < 3 mm
3. Wenn die Flamme vor der ersten Markierung erlischt

## 9.4.2 Brennbarkeitsklasse V



**Bild 9.15** Wenn der Prüfstab in einer vertikalen Position getestet wird, wirkt die Flamme zweimal 10 Sekunden lang ein. Die zweite Beflammung erfolgt unmittelbar, nachdem die erste Flamme erlischt.



# Kostenberechnungen für Formteile

Die meisten Spritzgießbetriebe verwenden Computer-basierte Software, um die Kosten von Spritzgussteilen zu berechnen. Leider haben die Einrichter der Spritzgießmaschinen sehr selten Einblick in die Software oder die Möglichkeit, eine solche zu verwenden, obwohl sie ein großes Potenzial haben, die Kosten zu beeinflussen, indem sie die Spritzgieß-Parameter einstellen.

Wie oft kommt es vor, dass Einrichter ein paar Sekunden zusätzliche Kühlzeit hinzufügen, wenn eine vorübergehende Störung des Spritzgusszyklus auftritt? Und dann vergessen, zu den ursprünglichen Einstellungen zurückzukehren, bevor die Parameter für die nächste Werkzeugeinrichtung gespeichert werden? Diese zusätzlichen Sekunden können Tausende von Euro unnötiger Produktionskosten pro Jahr verursachen und auch die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens reduzieren.

In diesem Kapitel wird gezeigt, wie eine relativ detaillierte Kostenberechnung für Spritzgussteile hergestellt werden kann. Der Einrichter kann damit erkennen, wie sich Änderungen im Prozess auf die Kosten des Formteils auswirken können. Dieses Tool basiert auf Microsoft Excel und ist zum Download verfügbar unter [www.brucon.se](http://www.brucon.se). Der Benutzer benötigt keine umfangreichen Excel-Kenntnisse, um die Eingabewerte einzutragen, und erhält sofort die Endkosten im unteren Teil der Tabelle.

Im Folgenden wird erklärt, wie die Excel-Datei verwendet wird und was die verschiedenen Eingabewerte bedeuten.

Wenn Sie die Datei mit dem Namen Costcalculator.xls öffnen, müssen Sie dieser Datei zunächst auf ihre Festplatte kopieren, da sonst die Makro-Funktionen nicht funktionieren. Je nachdem, wie die Excel-Standardwerte eingestellt sind, kann es notwendig sein, die Sicherheitseinstellungen zu ändern. Detaillierte Informationen, wie dies getan werden kann sind auch auf der Homepage des Autors zu finden. Die Excel-Datei ist schreibgeschützt, daher sollte sie unter einem anderen Namen gespeichert werden, sobald Sie fertig sind.

## Kostenrechner

**Alle in diesen Daten enthaltenen Berechnungen bzw. Angaben wurden nach bestem Wissen dargestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesen Daten enthaltenen Angaben mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Bruder Consulting AB, Schweden, übernimmt infolgedessen keine Verantwortung und wird keine darausfolgenden Ansprüche oder sonstige Haftung übernehmen, die aus irgendeiner Weise aus der Benutzung dieser Berechnungen oder Angaben oder Teilen daraus entsteht.**

<b>Durch Annehmen der oben genannten Bedingungen können Sie die Datei starten.</b>	<b>Ich akzeptiere die Bedingungen</b>
<b>Lesen Sie hier über die Funktionen des Programms Klicken Sie hier</b>	<b>Für einen Kostenvergleich zwischen zwei verschiedenen Materialien Klicken Sie hier</b>
<b>Für eine vollständige Kostenrechnung Klicken Sie hier</b>	

Version: 16/01/14

**Bild 19.1** Dieses Startmenü erscheint, wenn die Excel Datei geöffnet wird.

Es stehen drei verschiedene Funktionen zur Auswahl:

1. Informationen zu den Funktionen dieser Software
2. Kostenvergleich zwischen zwei verschiedenen Materialien
3. Erstellung einer kompletten Kostenberechnung für ein Bauteil

Bevor Sie auf *Ich akzeptiere die Bedingungen* klicken, können Sie die Informationen zu den Funktionen dieser Software lesen. Die beiden anderen Tasten werden nur als leere Seiten angezeigt.

Die Datei ist aktiv! Wählen Sie unten ein Eingabefeld aus.

Ich akzeptiere die Bedingungen

**Bild 19.2** Sobald *Ich akzeptiere die Bedingungen* angeklickt wurden, wird *Diese Datei ist aktiv* angezeigt, so dass alle Funktionen zur Verfügung stehen.

## 19.1 Berechnung der Bauteilkosten

Wir beginnen mit der *Berechnung der Bauteilkosten*. Dies ist die umfangreichste Funktion, und wir werden alle Eingabewerte behandeln, bevor wir das Kapitel mit der „Material-Vergleichsrechnung“ abschließen.

Mit der *Berechnung der Bauteilkosten* können Sie eine relativ vollständige Kostenberechnung für ein einzelnes Bauteil, eine Liefermenge oder eine Jahresmenge durchführen. Wenn sie die weißen Eingabefelder mit blauem Text ausfüllen, können Sie schnell in das nächste Feld gelangen, indem Sie die Tabulator-Taste auf der Computertastatur verwenden.

Das Endergebnis wird mit einem vorgegebenen Verkaufspreis berechnet, aber es ist auch möglich, den Verkaufspreis für einen vorbestimmten Gewinn zu berechnen, den Sie erreichen möchten.

		<b>Berechnung der Bauteilkosten</b>		04-12-16	Wichtige Hinweise, zuerst hier klicken!	?	Werte
							Drucken
							Wiederbeschaffungskosten
							Szenarien
<b>Eingaben:</b>	Währung:	Euro					
Voraussichtliche Stückzahl pro Jahr		1000000	Stück	Kunde:	Automolder Inc	Dateiname:	Cable_clips.xls
Lieferungen pro Jahr		10	mal	Bezeichnung des Teils	Cable Clips	Teilenummer:	55-123789
Nettogewicht des Teils		13,00	g	Materialtyp	Zytel ST801	Lieferdatum:	W46
Ausschuss		1,0	%	Teile pro Lieferung	100000	Maschine:	Engel 100 Tonnen No. 141
Berechnetes Teilgewicht (inkl. Ausschuss)		13,13	g	Jährliche Stückzahl	1000000	Lieferungen/Jahr	10 Stück
Materialpreis pro kg		5,20	Euro				
Totzeit		0,7	s				
Anteil des Einrichters pro Maschine		20,0	%				
Direkte Arbeitskosten + allgemeine Ausgaben		20,00	Euro				
Direkte Arbeitskosten + allgemeine Ausgaben/sec		0,006	Euro				
				<b>1 Direkte Kosten des Spritzgießens:</b>	<b>Pro Teil</b>	<b>Pro Lieferung</b>	<b>Pro Jahr</b>
				Material:	0,067 Euro	6691 Euro	66910 Euro
				Direkte Arbeitskosten + allgemeine Ausgaben	0,004 Euro	406 Euro	4056 Euro
				Kosten Werkzeugwechsel:	0,000 Euro	45 Euro	450 Euro
				Verpackung:	0,001 Euro	100 Euro	1000 Euro
				Kosten Farbmasterbatch:	0,003 Euro	263 Euro	2626 Euro
				<b>SUMME DER KOSTEN:</b>	<b>0,075 Euro</b>	<b>7504 Euro</b>	<b>75042 Euro</b>

**Bild 19.3** Wenn Sie mit den gleichen Werten üben möchten, die oben dargestellt sind, klicken Sie einfach auf die Taste *Beispielwerte einfügen*, und die Tabelle wird automatisch mit diesen Werten ausgefüllt.

## 26.1 Analyse des Spritzgießprozesses

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Spritzgießparameter behandelt, welche die Qualität der Formteile beeinflussen. Dabei ist es sehr wichtig, systematisch vorzugehen und eine gute Dokumentation zu pflegen.

Bild 26.1 zeigt ein Dokument mit dem Titel „Spritzgieß-Prozessanalyse“. Diese Excel-Datei kann unter [www.brucon.se](http://www.brucon.se) heruntergeladen werden. Auf diesem Blatt können die meisten Parameter eingetragen werden, die dokumentiert werden müssen, um den Spritzgießprozess eines Formteils zu beschreiben.

Dieses Dokument wurde vom Verfasser dieses Buches entworfen, als er für den technischen Service bei einem führenden Kunststoff-Hersteller in den nordischen Ländern verantwortlich war.

Vielleicht denken Sie jetzt: Warum sollte ich Zeit damit verbringen, die Parameter einzutragen, wenn ich sie direkt aus dem Computersystem meiner Spritzgießmaschine ausdrucken kann?

Die Antwort ist, dass Sie wahrscheinlich in den ganzen Zahlen ertrinken würden und nur mit Mühe die Ursache des Problems finden. Sie hätten auch Schwierigkeiten, die wichtigsten Parameter zu finden, da die Ausdrücke von verschiedenen Maschinen völlig unterschiedlich sind.

Dieses Dokument eignet sich für die Problemlösung und lässt sich als Grundlage für die Prozess- und Kostenoptimierung nutzen. Es eignet sich auch, einen Testlauf oder den Produktionsbeginn eines neuen Auftrags zu dokumentieren. Wenn Sie das Dokument ausfüllen, sobald der Prozess auf dem höchsten Niveau ist, haben Sie gute Vergleichspunkte zum Vergleich, wenn eine Störung im Prozess auftritt. Deshalb werden wir uns die Struktur dieses Dokuments genau ansehen und die Bedeutung der Informationen in jedem Eingabefeld erklären. Auf der letzten Seite dieses Kapitels ist das Dokument in ganzseitigem Format dargestellt.

SPRITZGIESS-PROZESSANALYSE					
Kunde	<input type="text"/>	Ort	<input type="text"/>	Datum	<input type="text"/>
Ansprechpartner	<input type="text"/>	Telefon	<input type="text"/>	Email	<input type="text"/>
Problem / Anliegen <input type="text"/>					
Material	<input type="text"/>	Alternativ einsetzbares Material	<input type="text"/>		
Chargen Nr.	<input type="text"/>	Masterbatch	<input type="text"/>	Masterbatchanteil	<input type="text"/> %
Maschine	<input type="text"/>	Nachdruckprofil möglich .....	<input type="checkbox"/>	Schließkraft	<input type="text"/> kN
Schnecken- typ	<input type="text"/>	Verschlußdüse.....	<input type="checkbox"/>	Entgasungs- zylinder.....	<input type="checkbox"/>
				Schnecken- durchmesser	<input type="text"/> mm
Bezeichnung des Formteils	<input type="text"/>	Heißkanalsystem	<input type="text"/>	Anzahl der Kavitäten	<input type="text"/>
Wanddicke am Anschnitt	<input type="text"/> mm	Max. Wanddicke	<input type="text"/> mm	Min. Wanddicke	<input type="text"/> mm
Abmessung des Anguss	<input type="text"/> mm	Abmessung des Angusskanals	<input type="text"/> mm	Abmessung des Anschnitts	<input type="text"/> mm
Düsendurchmesser	<input type="text"/> mm	Gewicht der Bauteile (gesamt)	<input type="text"/> g	Schussgewicht (gesamt)	<input type="text"/> g
Trocknung:	Heißlufttrockner.. <input type="checkbox"/>	Trockenlufttrockner.....	<input type="checkbox"/>	Direkter Transport des getrockneten .....	<input type="checkbox"/>
				Materials in den Trichter	
Trocknungs- temperatur	<input type="text"/> °C	Trocknungszeit	<input type="text"/> Stunden		
Verarbeitung:					
Zylinder Temp. (hinten)	Zone 1 <input type="text"/> °C	Zone 2 <input type="text"/> °C	Zone 3 <input type="text"/> °C	Zone 4 <input type="text"/> °C	Düse <input type="text"/> °C
Schmelzetemp.	<input type="text"/> °C	Werkzeugtemp. moving	<input type="text"/> °C	Werkzeugtemp. fixed	<input type="text"/> °C
				Temp. mit Pyrometer geprüft....	<input type="checkbox"/>
Einspritzdruck	<input type="text"/> MPa	Nachdruck	<input type="text"/> MPa	Nachdruckzeit	<input type="text"/> s
		>>> Profil <<<			
Einspritzgeschwindigkeit	<input type="text"/>	>>> Profil <<<	<input type="text"/> %....	<input type="text"/> mm/s....	<input type="text"/> s
Staudruck	<input type="text"/> Mpa	Schneckendrehzahl	<input type="text"/> UpM	Schneckenumfangsgeschwindigkeit	<input type="text"/> Formel m/s
Dosierzeit	<input type="text"/> s	Kühlzeit	<input type="text"/> s	Gesamtzykluszeit	<input type="text"/> s
				Verweilzeit	<input type="text"/> Formel min
Dosierweg	<input type="text"/> mm <input type="checkbox"/>	Max. Dosierweg	<input type="text"/> mm <input type="checkbox"/>	cm <sup>3</sup> <input type="checkbox"/>	Dekompression
				<input type="text"/> mm.. <input type="checkbox"/>	cm <sup>3</sup> <input type="checkbox"/>
Nachdruck Umschalt- punkt	<input type="text"/> mm	Schmelzpolster	<input type="text"/> mm	Schmelzpolster is stabil...	<input type="checkbox"/>
Kommentare	Maschinenbediener: <input type="text"/>				
<input type="text"/>					

Bild 26.1 Das Arbeitsblatt „Spritzgieß-Prozessanalyse“, das in diesem Kapitel beschrieben wird.

### Umfangsgeschwindigkeit

Die maximale Umfangsgeschwindigkeit ist in den Tabellen angegeben, weil viele Spritzgießer in gutem Glauben mit einer zu hohen Schneckendrehzahl dosieren und damit die Polymerketten im Zylinder durch hohe Scherung und Reibung unnötig schädigen, was zu schlechterer Qualität führt. In Abschnitt 26.13 (Bild 26.40) finden Sie eine Formel, mit der Sie die maximal zulässige Umfangsgeschwindigkeit über die maximal zulässige Drehzahl in Abhängigkeit vom Schneckendurchmesser berechnen können. Wenn Sie die empfohlene maximale Umfangsgeschwindigkeit für Ihr Material nicht finden können, sollten Sie berücksichtigen, dass hochviskose Typen manchmal eine 30 % niedriger Drehzahl erfordern als weniger viskose Standardmaterialien. Schlagzähmodifiziertes POM mit einem Schmelzindex von 1 bis 2 g/10 min hat beispielsweise eine empfohlene maximale Umfangsgeschwindigkeit von 0,2 m/s im Vergleich zu 0,3 m/s für ein Standard-Material mit einem Schmelzindex von 5 bis 10 g/10 Minuten. Bei glasfaserverstärkten Typen beträgt die empfohlene maximale Umfangsgeschwindigkeit in der Regel 30 bis 50 % der Geschwindigkeit für das unverstärkte Material. Auch schlagzäh modifizierte und flammgeschützte Typen reagieren empfindlicher auf Scherung als Standardtypen.

### Nachdruck

Ein ausreichend hoher Nachdruck ist für teilkristalline Kunststoffe besonders wichtig. Gewöhnlich ist es empfehlenswert, einen so hohen Druck wie möglich einzustellen, ohne dass Grate in der Trennebene oder Probleme beim Auswerfen auftreten. Wir nennen Nachdruckwerte, weil viele Spritzgießer manchmal in gutem Glauben den Nachdruck viel zu niedrig einstellen, was zu schlechterer Qualität führt.

Weitere wichtige Parameter wie Nachdruckzeit, Nachdruckumschaltzeitpunkt, Staudruck, Einspritzgeschwindigkeit und Dekompression sind abhängig von der Formteilgestaltung und der Maschine. Wir können daher keine allgemeinen Werte dieser Parameter geben, sondern verweisen stattdessen auf Kapitel 26.

**Tabelle 27.1** Typische Verarbeitungsdaten für nicht modifizierte Standardtypen gebräuchlicher Thermoplaste.

Teilkristalline Standardkunststoffe										
Material	Typ	Schmelzetemperatur		Werkzeugtemp.	Trocknung				Nachdruck	Max. Umfangsgeschwindigkeit
		Nominal	Bereich		Temp.	Zeit	Max. Feuchtigkeit	Taupunkt		
Einheit		°C	°C	°C	°C	h	%	°C	MPa	m/s
Polyethylen	PEHD	200	200 – 280	25 – 60	Normalerweise keine Trocknung erforderlich!				25 – 35	1,3
Polyethylen	PELD	200	180 – 240	20 – 60	Normalerweise keine Trocknung erforderlich!				25 – 35	0,9
Polyethylen	PELLD	200	180 – 240	20 – 60	Normalerweise keine Trocknung erforderlich!				25 – 35	0,9
Polyethylen	PEMD	200	200 – 260	25 – 60	Normalerweise keine Trocknung erforderlich!				25 – 35	1,1
Polypropylen	PP	240	220 – 280	20 – 60	Normalerweise keine Trocknung erforderlich!				35 – 45	1,1

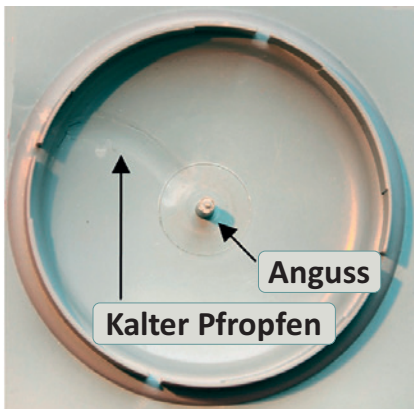
Amorphe Standardkunststoffe										
Material	Typ	Schmelzetemperatur		Werkzeugtemp.	Trocknung				Nachdruck	Max. Umfangsgeschwindigkeit
		Nominal	Bereich		Temp.	Zeit	Max. Feuchtigkeit	Tau-punkt		
Einheit		°C	°C	°C	°C	h	%	°C	MPa	m/s
Polystyrol	PS	230	210 – 280	10 – 70	Normalerweise keine Trocknung erforderlich!				45 – 50	0,9
HIPS	PS/SB	230	220 – 270	30 – 70	Normalerweise keine Trocknung erforderlich!				45 – 50	0,6
SAN		240	220 – 290	40 – 80	Normalerweise keine Trocknung erforderlich!				45 – 50	0,6
ABS		240	220 – 280	40 – 80	80	3	0,1	– 18	45 – 50	0,5
ASA		250	220 – 280	40 – 80	90	3 – 4	0,1	– 18	40 – 45	0,5
PVC	weich	170	160 – 220	30 – 50	Normalerweise keine Trocknung erforderlich!				40 – 45	0,5
PVC	hart	190	180 – 215	30 – 60	Normalerweise keine Trocknung erforderlich!				50 – 55	0,2
PMMA		230	190 – 260	30 – 80	8	4	0,05	– 18	60 – 80	0,6

Teilkristalline technische Kunststoffe										
Material	Typ	Schmelzetemperatur		Werkzeugtemp.	Trocknung				Nachdruck	Max. Umfangsgeschwindigkeit
		Nominal	Bereich		Temp.	Zeit	Max. Feuchtigkeit	Tau-punkt		
Einheit		°C	°C	°C	°C	h	%	°C	MPa	m/s
POM	POM Homo	215	210 – 220	90 – 120	Normalerweise keine Trocknung erforderlich!				60 – 80	0,3
POM	POM Copo	205	200 – 220	60 – 120	Normalerweise keine Trocknung erforderlich!				60 – 80	0,4
Polyamid 6	PA6	270	260 – 280	50 – 90	80	2 – 4	0,2	– 18	55 – 60	0,8
Polyamid 66	PA66	290	280 – 300	50 – 90	80	2 – 4	0,2	– 18	55 – 60	0,8
Polyester	PBT	250	240 – 260	30 – 130	120	2 – 4	0,04	– 29	50 – 55	0,4
Polyester	PET + GF	285	280 – 300	80 – 120	120	4	0,02	– 40	50 – 55	0,2

Amorphe technische Kunststoffe										
Material	Type	Schmelzetemperatur		Werkzeugtemp.	Trocknung				Nachdruck	Max. Umfangsgeschwindigkeit
		Nominal	Bereich		Temp.	Zeit	Max. Feuchtigkeit	Tau-punkt		
Einheit		°C	°C	°C	°C	h	%	°C	MPa	m/s
Polycarbonat	PC	290	280 – 330	80 – 120	120	2 – 4	0,02	– 29	60 – 80	0,4
Polycarbonat	PC/ABS	250	230 – 280	70 – 100	110	2 – 4	0,02	– 29	40 – 45	0,3
Polycarbonat	PC/PBT	260	255 – 270	40 – 80	120	2 – 4	0,02	– 29	60 – 80	0,4
Polycarbonat	PC/ASA	250	240 – 280	40 – 80	110	4	0,1	– 18	40 – 45	0,3
Mod. PPO		290	280 – 310	80 – 120	110	3 – 4	0,01	– 29	35 – 70	0,3

(Fortsetzung auf nächster Seite)

2. Erhöhen Sie den Nachdruck
3. Wählen Sie die gleiche Oberfläche auf beiden Werkzeughälften



**Bild 29.21** Das Bild zeigt den mittleren Bereich einer Radkappe. Während der Öffnungs- und Schließphase fließt Schmelze in die Kavität, da die Einspritzeinheit am Werkzeug anliegt.

### 29.3.13 Kalter Pfropfen

#### Mögliche Ursachen (in der Reihenfolge ihrer Wahrscheinlichkeit)

1. Das Material gefriert in der Düse
2. Kein oder ungünstig positionierter Pfropfenfänger im Angusskanal
3. Die Schmelze fließt während der Öffnungs- oder Schließphase des Spritzgießzyklus in die feste Hälfte

#### Lösungsvorschläge (entsprechend den oben genannten Ursachen)

1. Erhöhen Sie die Düsentemperatur
2. Positionieren Sie den Pfropfenfänger gegenüber dem Anguss im Werkzeug
3. Reduzieren Sie das Risiko von Schmelzeleckage im Werkzeug:
  - Erhöhen Sie die Dekompression (Schneckenrückzug)
  - Fahren Sie die Einspritzeinheit während der Öffnungs- und Schließphase zurück
  - Erhöhen Sie die Einspritzgeschwindigkeit



**Bild 29.22** Sichtbare Auswerfermarkierungen, die wie weiße Mondsicheln aussehen. Außerdem ist eine deutliche Einfallstelle zu erkennen.

### 29.3.14 Auswerfermarkierungen

#### Mögliche Ursachen (in der Reihenfolge ihrer Wahrscheinlichkeit)

1. Das Teil haftet zu fest in der Kavität
2. Das Teil ist beim Auswerfen nicht kalt (steif) genug
3. Werkzeugprobleme oder eine fehlerhafte Konstruktion

#### Lösungsvorschläge (entsprechend den oben genannten Ursachen)

1. Reduzieren Sie die Werkzeugschwindigkeit:
  - Reduzieren Sie den Nachdruck
  - Reduzieren Sie die Nachdruckzeit
  - Erhöhen Sie das Trennmittel (Oberflächenschmierung) im Material
  - Verwenden Sie (am Anfang) eine Trenn-Spray
2. Erhöhen Sie die Effizienz beim Auswerfen oder bei der Abkühlung des Teils:
  - Erhöhen oder verringern Sie die Auswurfgeschwindigkeit
  - Reduzieren Sie die Werkzeugtemperatur
  - Erhöhen Sie die Nachdruckzeit oder die Kühlzeit



3. *Bearbeitung in der Werkstatt erforderlich (siehe auch Kapitel 16):*
  - Erhöhen Sie den Winkel die Entformungsschrägen in der Kavität
  - Ändern Sie die Größe oder die Gestaltung der Auswerferstifte

### 29.3.15 Ölflecken – braune oder schwarze Stippen

#### Mögliche Ursachen (in der Reihenfolge ihrer Wahrscheinlichkeit)

1. Auslaufende Kühlflüssigkeit, falls eine Öltemperierung verwendet wird
2. Undichte Hydraulikölschläuche (Kerne)
3. Schmiermittel tropft aus dem Werkzeug
4. Verunreinigung durch den Greifer des Roboters
5. Mikrorisse in den Werkzeugwänden oder -platten

#### Lösungsvorschläge (entsprechend den oben genannten Ursachen)

1. Überprüfen Sie die Schläuche
2. Überprüfen Sie die Schlauchverbindungen
3. Reinigen Sie das Werkzeug
4. Reinigen Sie den Greifer des Roboters
5. *Bearbeitung in der Werkstatt erforderlich (siehe auch Kapitel 16):*  
Reparieren Sie das Werkzeug



**Bild 29.23** Braune fettige Ölflecken auf einem weißen Kunststoffdeckel.

### 29.3.16 Wasserflecken

#### Mögliche Ursachen (in der Reihenfolge ihrer Wahrscheinlichkeit)

1. Undichte Temperierschläuche im Werkzeug
2. Undichte Dichtungen im Werkzeug
3. Risse in den Werkzeugplatten

#### Lösungsvorschläge (entsprechend den oben genannten Ursachen)

1. Überprüfen Sie die Anschlüsse und Schläuche
2. Überprüfen Sie die O-Ringe und Dichtungen im Werkzeug
3. *Bearbeitung in der Werkstatt erforderlich (siehe auch Kapitel 16):*  
Reparieren Sie das Werkzeug



**Bild 29.24** Die diagonale Markierung auf der Oberfläche ist entstanden, als Kunststoffschmelze in der Kavität mit Wasser in Kontakt kam.



# Index

## Symbole

3D-Drucken 162

## A

ABS 18  
Abweichung 302  
Abzug 186  
Additive 78  
amorph 5  
Analyse des Füllvorgangs 146  
Analytische Fehlerbehebung 301  
Anforderungsprofil 210  
Angusssysteme 130  
Anisotropes Verhalten 241  
Anschnitt 131  
Anschnittposition 255  
ataktisch 77  
Ausschuss 170  
Auswerfermarkierungen 330  
Auswerfersysteme 137

## B

Barriereschnecke 181  
Bauteilgestaltung 238  
Bedrucken 117  
Belüftungssysteme 136  
Biegemodul 91  
Bindenähte 257, 327  
Biokomposite 68  
Biokunststoffe 59  
biologisch abbaubar 59  
Biopolyamide 66  
Biopolyester 64  
Biopolymere 62  
Blasen 326, 332  
Blasformen 204  
Brainstorming 307  
Brandflecken 321  
Brandverhalten 86, 94, 107  
Brennbarkeitsklasse HB 95  
Brennbarkeitsklasse V 95  
Bruchdehnung 89

## C

CAMPUS 98  
Cellulose 63  
Chargennummer 273  
Chemische Eigenschaften 83  
Coextrusion 191  
Compoundierung 195

## D

Dauergebrauchstemperatur 93  
Dekompression 294  
Delaminierung 329  
Dichtlippe 197  
Diesel-Effekt 323  
Doppelschneckenextruder 182  
Dosierweg 294  
Dosierzeit 292  
Dreiplattenwerkzeuge 124  
Duroplaste 3  
Düsendurchmesser 278

## E

Eckenradius 252  
Einfallstellen 319  
Einsatztemperatur 93  
Einschneckenextruder 181  
Einspritzdruck 286  
Einspritzeinheit 112  
Einspritzgeschwindigkeit 286, 289  
Elektrische Eigenschaften 84, 96  
Entfärbung 321  
Entformungsschrägen 138  
Entgasungszone 180  
Entgasungszylinder 276  
EPS 15  
Etagenwerkzeuge 125  
Extrusion 177

## F

Fadenbildung 342  
Faktorielle Versuchsplanung 309

Familienwerkzeuge 126  
Farbschlieren 324  
Fehlersuche 316  
Fluorpolymere 47  
Folienblasen 191  
Freistrahlbildung 328  
Füllgrad 318  
Fused Deposition Modeling 161

## G

Gasinjektion 116  
Generative Fertigung 166  
Gesamtschwindung 284  
Glasfaserschlieren 327  
Glasübergangstemperatur 5  
Gleitverbindung 198  
Granulationsverfahren 78  
Gratbildung 319

## H

HDPE 8  
Heißkanalsysteme 132  
Heißlufttrockner 279  
Heißprägen 118  
Heizelementschweißen 265  
Hochleistungsthermoplaste 46  
Hohlräume 320, 332  
hygroskopisch 279

## I

Infrarotschweißen 266  
Infrarot-Spektrophotometer 108  
In-Mould-Dekorieren 120  
isotaktisch 77  
Istwert 302

## K

Kabelherstellung 193  
Kalter Pfropfen 330  
Kerbempfindlichkeit 253  
Kleben 269

Konstruktionsregeln 238  
Korrugatoren 185  
Kostenberechnung 168  
Kostenvergleich 175  
Kriechen 242  
Kühlsysteme 134  
Kühlzeit 292  
Kunststoff 1

### L

Lackierung 121  
Lasermarkierung 121  
Laserschweißen 266  
LCP 50  
LCPA 66  
LDPE 8  
LLDPE 8

### M

Mahlgut 273, 335  
Maschinenfähigkeit 349  
Maßhaltigkeit 336  
Masterbatch 80  
Materialabbau 321  
Materialauswahl 209  
Material Data Center 98  
Materialdaten 88  
MDPE 8  
mechanische Eigenschaften 79  
Mehrkomponenten-Spritzgießen 115  
Mehrkomponenten-Werkzeuge 127  
Metallisierung 122  
Mikrotom-Untersuchung 109  
Monofilamente 194  
Monomer 76  
Muffen 203

### N

Nachdruck 287  
Nachdruck-Umschaltpunkt 295  
Nachdruckzeit 287  
Nachschwindung 284  
Nichtlinear 240  
Nieten 268  
Nylon 23

### O

Oberflächenbehandlung 117  
Oberflächenglanz 325  
Ölflecken 331  
Orangenschalenhauteffekt 329

### P

PA 23  
PBT 31  
PC 33  
PEEK 53  
PEI 54  
PET 31  
PEX 8  
Pfropfenfänger 133  
PHA 67  
Physikalische Eigenschaften 80  
Pigmentorientierung 325  
PLA 64  
PMMA 21  
Polyamid 23  
Polycarbonat 33  
Polyester 29  
Polyetheretherketon 53  
Polyetherimid 54  
Polyethylen 7  
PolyJet 164  
Polymer 1  
Polymerisation 76  
Polymethylmethacrylat 21  
Polyoxymethylen 26  
Polyphenylsulfon 57  
Polypropylen 11  
Polystyrol 15  
Polysulfon 56  
Polyvinylchlorid 13  
POM 26  
Poren 320  
PP 11  
PPA 49  
PPS 52  
PPSU 57  
Problemanalyse 306  
Produktionsprobleme 339  
Profil 196  
Prototypenwerkzeuge 145  
Prozessfähigkeit 350

Prozessparameter 297  
Prüfverfahren 105  
PS 15  
PSU 56  
PTFE 47  
PTT 65  
PVC 13  
Pyrometer 282

### Q

Qualitätskontrolle 102

### R

Rapid Prototyping 155  
Rasterelektronenmikroskop 108  
Recycling 73  
Regelgrenzen 345  
Relaxation 242  
Rippen 254  
Rissbildung 334  
Risse 332  
Rotationsformen 206  
Rotationsschweißen 264  
Rotierende Kerne 125

### S

SAN 17  
SBS 38  
Schallplattenrillen 329  
Scharnier 198  
Schlagzähigkeit 92  
Schlieren 321  
Schließenheit 113  
Schmelzepolster 295  
Schmelztemperatur 282  
Schmelzindex 97  
Schmelzpunkt 5  
Schnappverbindung 199  
Schneckendrehzahl 290  
Schneckendurchmesser 292  
Schwindung 336  
SEBS 38  
Selektives Laser Sintern 159  
Siebdruck 119  
Silberschlieren 322, 324  
Six Sigma 345

- Sollwert 302  
Spannungs-Dehnungskurve 90  
Spannungskonzentration 252  
spezifisches Volumen 6  
spezifische Wärme 6  
Spiralisierung 202  
Spritzgießmaschine 110  
Spritzgießprozess 270  
Spritzgießverfahren 110  
Spritzgießzyklus 114  
Standardabweichung 344  
Stärke 63  
Statistische Prozesskontrolle 343  
Statistische Versuchsplanung 309  
Staudruck 289  
Steifigkeit 89  
Stereolithographie 156  
Stippen 321  
Streckspannung 90  
Streifen 326  
syndiotaktisch 77
- T**
- Tampondruck 119  
teilkristallin 5  
Temperaturprofil 281  
Thermische Eigenschaften 85  
Toleranzen 258, 337  
TPC-ET 42  
TPE 36  
TPE-A 44  
TPE-E 42  
TPE-O 36  
TPE-S 38  
TPE-U 41  
TPE-V 39  
TPO 36  
TPS 38  
TPU 41  
TPV 39  
Trockenlufttrockner 279  
Trocknung 278
- U**
- Ultraschallschweißen 262  
Umfangsgeschwindigkeit 276, 280, 291f.  
Umlenk-Werkzeug 189  
Umweltfaktoren 70  
Unaufgeschmolzene Bereiche 281  
Unaufgeschmolzenes Material 333
- V**
- Vakuumformen 207  
Verarbeitungsdaten 298, 300  
Verarbeitungsschwindung 97, 284  
Verbindungstechnik 260  
Verchromung 122  
Verschlussdüse 275  
Versprödung 334  
Verweilzeit 293  
Verzug 338  
Vibrationsschweißen 263  
Visuelle Prüfung 104
- W**
- Wanddicke 251  
Wärmeformbeständigkeit 86, 93  
Wärmestabilisierung 85  
Wasserflecken 331  
Wasserinjektion 116  
Werkzeug 123  
Werkzeuge mit Schmelzkernen 128  
Werkzeuggestaltung 139  
Wickeln 188  
Witterungsbeständigkeit 81
- X**
- XR-Diagramm 346f.
- Z**
- Zielwert 347  
Zielwert Zentrierung 348  
Zugfestigkeit 88  
Zugmodul 91  
Zwei-Komponenten-Spritzgießen 115  
Zweiplattenwerkzeuge 123  
Zylinder 180