



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

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

Lektorat: Ulrike Wittmann

Übersetzung: Dr.-Ing. Harald Sambale, München

Herstellung: Jörg Strohbach

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, 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

Vorwort	XVII	
Polymere und Kunststoffe	1	KAPITEL 1
1.1 Duroplaste	3	
1.2 Thermoplaste	4	
1.3 Amorphe und teilkristalline Kunststoffe	5	
Standardkunststoffe	7	KAPITEL 2
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	
Technische Kunststoffe	23	KAPITEL 3
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
KAPITEL 4	Thermoplastische Elastomere	36
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
KAPITEL 5	Hochleistungspolymere	46
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	
	Biokunststoffe und Biokomposite	59	KAPITEL 6
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	
	Kunststoffe und Umwelt	70	KAPITEL 7
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	
	Modifizierung von Polymeren	76	KAPITEL 8
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	Barriereeigenschaften	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
KAPITEL 9	Materialdaten und Messgrößen	88
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
KAPITEL 10	Materialdatenbanken im Internet	98
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
KAPITEL 11	Prüfverfahren für Kunststoff-Rohstoffe und Formteile	102
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

Spritzgießverfahren	110	KAPITEL 12
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	
Nachbearbeitungsverfahren	117	KAPITEL 13
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	
Verschiedene Bauarten von Werkzeugen	123	KAPITEL 14
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	
Aufbau von Werkzeugen	129	KAPITEL 15
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	

KAPITEL 16	Werkzeuggestaltung und Produktqualität	139
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
KAPITEL 17	Prototypenwerkzeuge und Analyse des Füllvorgangs	145
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
KAPITEL 18	Rapid Prototyping und Additive Fertigungsverfahren	154
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

Kostenberechnungen für Formteile	168	KAPITEL 19
19.1 Berechnung der Bauteilkosten	169	
19.2 Szenarien Bauteilkosten	173	
19.3 Kostenvergleich	174	
Extrusion	177	KAPITEL 20
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
KAPITEL 21		Alternative Verarbeitungsmethoden für Thermoplaste	204
	21.1	Blasformen	204
	21.2	Rotationsformen	206
	21.3	Vakuumformen	207
KAPITEL 22		Vorgehensweise bei der Materialauswahl	209
	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
KAPITEL 23		Anforderungen und Spezifikation von Kunststoffprodukten ..	216
	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
KAPITEL 25	Verbindungstechniken für Thermoplaste	260
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
KAPITEL 26	Der Spritzgießprozess	270
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
KAPITEL 27	Prozessparameter für das Spritzgießen	297
KAPITEL 28	Problemlösung und Qualitätsmanagement	301
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
KAPITEL 30	Statistische Prozesskontrolle (SPC)	343
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
KAPITEL 31	Internetadressen	355
	Index	357

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.

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 schlagzähen 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.

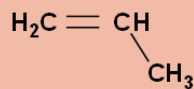
Klebstoffe, Teppichunterlagen, Kabelisierungen, Trägermaterialien für Farbmaterbatches, Stretchfolien und Beschichtungen für Pappe und Papier sind typische EVA-Anwendungen.

2.2 Polypropylen (PP)

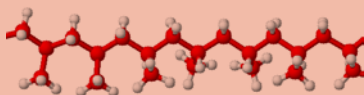
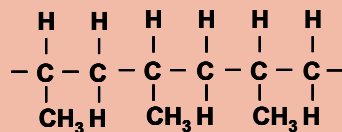


Chemische Grundlagen:

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 > 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.

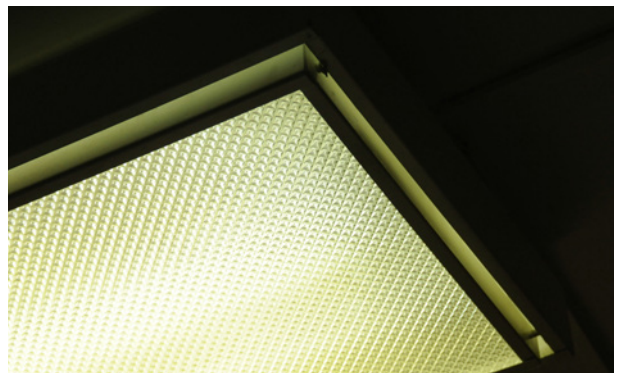


Bild 2.28 PMMA kommt vor allem in der Beleuchtungsindustrie, z. B. als Blende für Leuchtstoffröhren zum Einsatz.

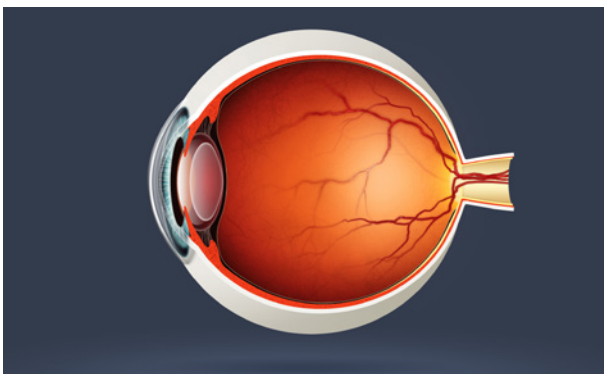


Bild 2.29 Künstliche Augenlinsen.
PMMA ist in hohem Maße mit dem menschlichen Körper kompatibel und wird daher für Implantate verwendet. Aufgrund seiner extrem guten optischen Eigenschaften werden künstliche Linsen, die chirurgisch in das Auge eingesetzt werden, aus PMMA hergestellt.



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

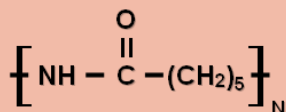
Bei der Weiterentwicklung von Polyamid konzentrierte man sich auf die Verbesserung der Hochtemperatureigenschaften und die Verringerung der Wasserabsorption. Dies hat neben PA6 und PA66 zu zahlreichen weiteren Varianten geführt. Die folgenden Typen sollten erwähnt werden: PA666, PA46, PA11, PA12 und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

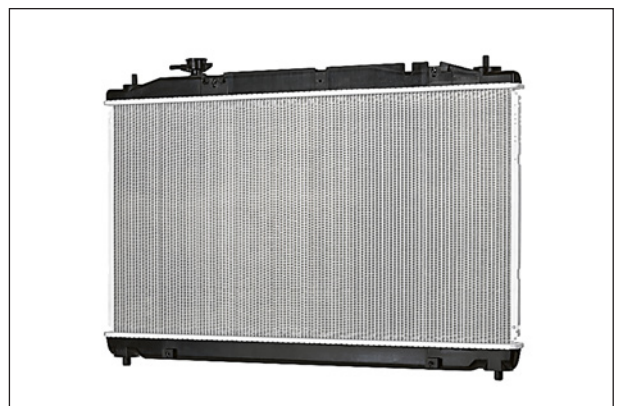


Bild 6.9 Wunderbaum
(*Ricinus communis*)



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.

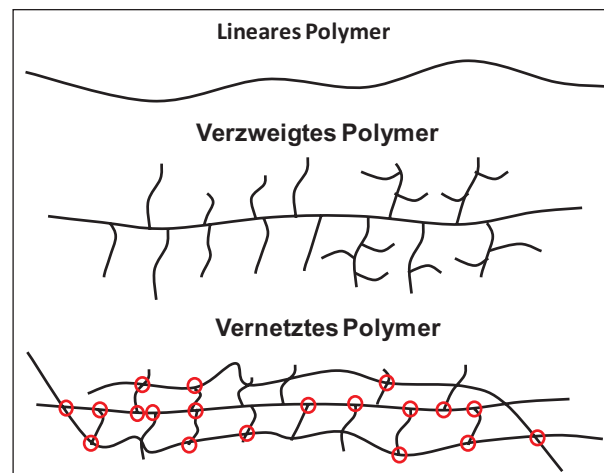


Bild 8.2 Bei der Polymerisation von Ethylen können verschiedene Varianten von Polyethylen hergestellt werden. LLDPE besteht aus linearen Ketten (oben). LDPE hat eine verzweigte Kettenstruktur (Mitte). PEX hat vernetzte Ketten, das heißt, es treten Molekülbindungen zwischen den Ketten auf (unten).

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.

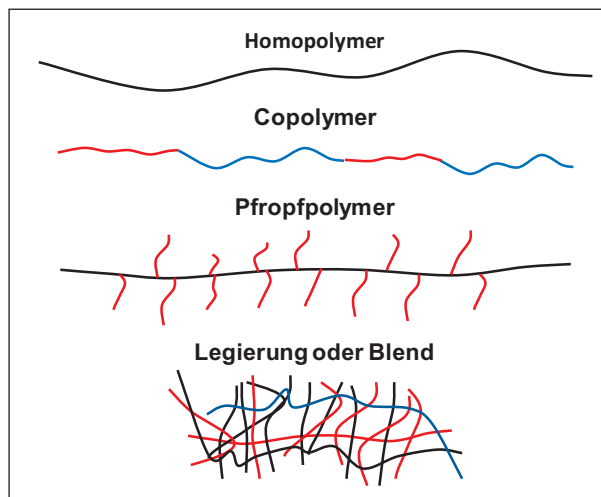


Bild 8.3 Am oberen Bildrand ist die lineare Kette aus einem reinen Polymer, z. B. Polypropylen, dargestellt. Durch die Zugabe von Ethylen erhält man ein Polypropylen-Copolymer mit einer Blockstruktur gemäß der zweiten Kette von oben. Dieses Material hat eine viel bessere Schlagzähigkeit als normales 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).

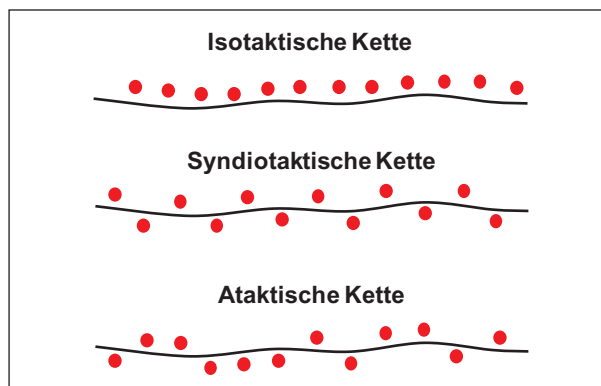


Bild 8.4 Die Eigenschaften eines Polymers lassen sich in einem gewissen Umfang dadurch beeinflussen, wie ein bestimmtes Molekül in der Kette ausgerichtet ist. Die roten Kreise der beiden Ketten im oberen Bildbereich symbolisieren die $-CH_3$ -Gruppen bei Polypropylen. Wenn alle $-CH_3$ -Gruppen in der 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

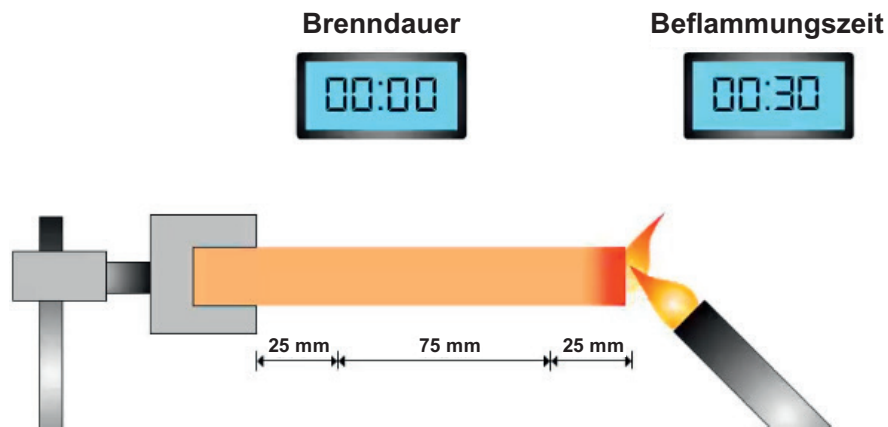


Bild 9.14 Die Flamme wirkt 30 Sekunden lang ein, bevor die Brenngeschwindigkeit gemessen wird. Für eine HB-Klassifizierung darf die zwischen zwei Punkten gemessene Brenngeschwindigkeit folgende Werte nicht überschreiten:

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

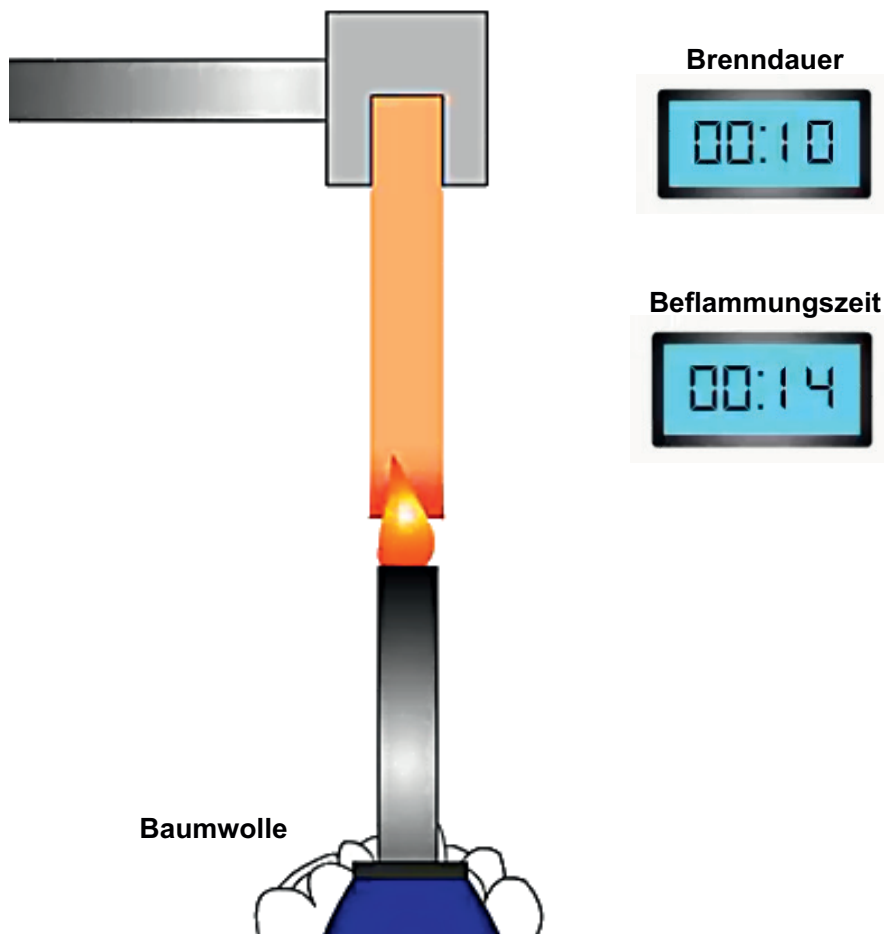


Bild 9.15 Wenn der Prüfstab in einer vertikalen Position getestet wird, wirkt die Flamme zweimal 10 Sekunden lang ein. Die zweite Beflammung erfolgt unmittelbar, nachdem die erste Flamme erlischt.

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. 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.

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

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.

Berechnung der Bauteilkosten		04-12-16	Wichtige Hinweise, zuerst hier klicken!	?	Werte Drucken																												
Eingaben:		Währung: Euro	Szenarien																														
Vorraussichtliche Stückzahl pro Jahr	1000000 Stück	Kunde: Automolder Inc	Dateiname: Cable_clips.xls	Wiederbeschaffungskosten																													
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	1 Direkte Kosten des Spritzgießens:																															
Totzeit	0,7 s	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Pro Teil</th> <th>Pro Lieferung</th> <th>Pro Jahr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material:</td> <td>0,067 Euro</td> <td>6691 Euro</td> <td>66910 Euro</td> </tr> <tr> <td>Direkte Arbeitskosten + allgemeine Ausgaben</td> <td>0,004 Euro</td> <td>406 Euro</td> <td>4056 Euro</td> </tr> <tr> <td>Kosten Werkzeugwechsel:</td> <td>0,000 Euro</td> <td>45 Euro</td> <td>450 Euro</td> </tr> <tr> <td>Verpackung:</td> <td>0,001 Euro</td> <td>100 Euro</td> <td>1000 Euro</td> </tr> <tr> <td>Kosten Farbmasterbatch:</td> <td>0,003 Euro</td> <td>263 Euro</td> <td>2626 Euro</td> </tr> <tr> <td>SUMME DER KOSTEN:</td> <td>0,075 Euro</td> <td>7504 Euro</td> <td>75042 Euro</td> </tr> </tbody> </table>					Pro Teil	Pro Lieferung	Pro Jahr	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	SUMME DER KOSTEN:	0,075 Euro	7504 Euro	75042 Euro
	Pro Teil	Pro Lieferung	Pro Jahr																														
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																														
SUMME DER KOSTEN:	0,075 Euro	7504 Euro	75042 Euro																														
Anteil des Einrichters pro Maschine	20,0 %																																
Direkte Arbeitskosten + allgemeine Ausgaben	20,00 Euro																																
Direkte Arbeitskosten + allgemeine Ausgaben/sec	0,006 Euro																																

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 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 ³ <input type="checkbox"/>	Dekompression	<input type="text"/> mm.. <input type="checkbox"/>
					cm ³ <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"/>						

www.brucon.se / 2016

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	Taupunkt		
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	Taupunkt		
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	Taupunkt		
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

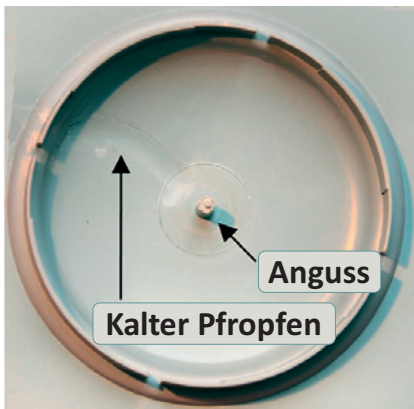


Bild 29.21 Das Bild zeigt den mittleren Bereich einer Radkappe. Während der Öffnungs- und Schließphase fließt Schmelze in die Kavität, da die Einspritzeinheit am Werkzeug anliegt.

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
Schmelzetemperatur 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