HANSER

Leseprobe

zu

Spritzgießwerkzeuge für Einsteiger

von Rainer Dangel

Print-ISBN: 978-3-446-46449-0
E-Book-ISBN: 978-3-446-46764-4

Weitere Informationen und Bestellungen unter
http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-46449-0
sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort zur 3. Auflage

Liebe Leser, zuerst möchte ich mich bei euch ganz herzlich bedanken. Der große Erfolg zeigt, dass es richtig und wertvoll war dieses Werk zu erstellen. Auch das vielfältige Feedback war durchweg positiv. Darin liegt auch der Grund, warum die zweite Ausgabe in Farbe gekommen ist und es jetzt bereits eine dritte Auflage gibt.

Natürlich wurde ich mehrfach gefragt, wie ein Werkzeugmacher auf die Idee kommen kann ein solches Buch zu schreiben. Woher nimmt er die Zeit und woher kommt das umfassende Wissen?

Die Motivation ein Buch zu schreiben kann vielfältig sein. Meine Motivation war ein kleines Handbuch für den Vertrieb von Bearbeitungszentren für den Formenbau zu schreiben. Der Vertrieb sollte verstehen was der Formenbau ist, was er macht, welche Bauteile herzustellen sind und aus welchen Materialien die einzelnen Bauteile gefertigt werden. Dabei wollte ich zuerst auf bestehende Unterlagen und Publikationen zurückgreifen. Doch ich musste feststellen, dass es in diesem Niveau für Einsteiger oder Anfänger nichts Entsprechendes gab. Dann blieb nur etwas Eigenes zu erstellen.

Und um es für jeden, speziell den Fach-Fremden, einfach zu machen war die Idee, immer dasselbe Kunststoffteil als Beispiel zu verwenden. Das Teil sollte so einfach wie möglich sein und man sollte sich auf das Wesentliche beschränken und konzentrieren können. Es sollte auf dieses Kunststoffteil aufbauend, unterschiedliches erklärt werden können. Sprich der rote Faden durch das gesamte Handbuch sollte verstanden werden. Alles andere ist unnötige Ablenkung. Nach der Veröffentlichung in der Firma waren die Handbücher nach wenigen Tagen vergriffen. Nicht nur der Vertrieb, sondern auch andere Interessierte versuchten eines zu ergattern.

Was liegt dann näher als aus einem kleinen Handbuch ein großes Werk zu erstellen. Zumal es wie bereits erwähnt, nichts Vergleichbares auf dem Markt gab. Zuerst war es tatsächlich die mangelnde Zeit, die das Projekt immer mehr in Verzug brachte. Eine schwere Krankheit brachte mir dann die Zeit und es war auch klar, dass ich diese Zeit nutzen musste. Über 2500 Stunden Arbeit und ca. 40 Konstruktionen, oder Erweiterungen von Konstruktionen waren zu bewältigen. Inklusive der ganzen Korrekturen ersteckte sich dieses ganze Projekt über mehr als ein halbes Jahr.

40 Jahre im Formenbau, 23 Jahre davon als selbstständiger Unternehmer und jetzt als Berater bringen das Wissen und die Erfahrung im Formenbau. Ausbildung an Maschinen mit Handrad, später Maschinen mit Digitalanzeige, dann NC-Technik und heute 5-Achs simultanes Programmieren und Fräsen. Bei der Konstruktion, der Weg vom Zeichnen am Reißbrett zum 3D-CAD. Der Wandel in den Jahrzehnten war nicht nur in der Technologie der Herstellung der Spritzgießwerkzeuge, sondern es musste auch der Wandel vom Handwerksbetrieb zum Industriebetrieb vollzogen werden. Die Kunden des Formenbauers sind heute fast ausschließlich Industriebetriebe. Zertifizierungen, Erstellen von Prozessen, Industrie 4.0 sind Schlagworte, die in den letzten Jahren den Formenbau beschäftigen.

Dies ist auch der Grund, warum das Kapitel der Prozesskette in die zweite Auflage mit aufgenommen wurde. Es wurde zusätzlich noch technisch erweitert und kleine Fehler wurden auch beseitigt.

In der jetzt vorliegenden dritten Auflage wurden vor allem die Bilder und Informationen zum Thema Simulation ausgetauscht und erweitert. Nach Erscheinen der zweiten Auflage habe ich mir eine eigene Simulationssoftware gekauft und seither regelmäßig genutzt. Obwohl ich es vorher schon wusste, wurde mir die Bedeutung der Simulation zur Vorbereitung der Konstruktion eines Spritzgießwerkzeugs noch deutlicher. Es können Fehler vermieden werden, Korrekturschleifen minimiert oder gar ganz wegfallen. Bei einigen Projekten, bei denen ich mit Simulation die Bauteile, Schwindung und Verzug berechnet habe, konnte nachweislich sehr viel Zeit und Geld gespart werden. Die Durchlaufzeit bis zum Start der Produktion erheblich verkürzt und das Werkzeug in mehreren Belangen besser gemacht werden. Dies wollte ich euch nicht vorenthalten und habe es als mein wichtigstes Thema in dieser dritten Auflage angesehen.

Zurzeit beschäftige ich mich zusammen mit Prof. Dr.-Ing Steffen Ritter und den Studenten der Hochschule Reutlingen damit, wie die Ausbildung und Weiterbildung in diesem Berufsfeld verbessert werden kann. Der Werkzeugbau, im Speziellen der Bau von Spritzgießwerkzeugen und die Herstellung von Kunststoffteilen zählt mit Recht zu den Schlüsseltechnologien der heutigen Zeit. Mehr denn je wird in diesem Bereich geforscht. Sei es um Gewicht einzusparen, oder Stabilität zu erhöhen oder gar die Kunststoffe biologisch abbaubar weiterzuentwickeln. Es bleibt spannend.

Jetzt wünsche ich viel Spaß beim Lesen und freue mich auf Eure Resonanz und das Feedback.

Euer Rainer Dangel,

September 2020

Begleitwort

Tja, was soll ich an dieser Stelle nur schreiben? Ein gehaltvolles und lehrhaftes Werk ist noch besser, aktueller und dezidierter geworden. Rainer Dangel ist es gelungen nochmal „eine Schippe draufzulegen“, wie man so schön sagt. Umso mehr ist es mir eine große Freude als auch ein persönliches Anliegen in dieser neuen Ausgabe ein lobendes Statement abzugeben. Konkret bedeutet dies aber für den Leser, dass Herr Dangel seine Ausführungen um zwei wichtige Bereiche ergänzt hat. Das Kapitel Simulation wurde überarbeitet und lässt nun weitergehende Einblicke in die wichtige Thematik zu. Er beleuchtet die unterschiedlichen Facetten der „bunten Bilder“ und weist insbesondere auf die Bewertung und Interpretation der selbigen hin. Die Kunst liegt in der richtigen Betrachtungsweise der Ergebnisse, gekoppelt mit einem hohen Know-how und Erfahrungsschatz des Betrachters. „Interpretiere und ziehe daraus die richtigen Schlussfolgerungen!“ ist hier die Devise. Und deutlich wird auch, die Simulation gehört in die Phase der Werkzeugentwicklung/-konstruktion und wird nicht im Nachgang zur Inbetriebnahme des Werkzeugs durchgeführt, wenn das Kind schon in den Brunnen gefallen ist. Das kann man gerne so machen, besser kann man dann aber auch kaum seine Zeit und sein Geld verbrennen.

In dem weiteren neuen Kapitel Beschaffungsprozess im Formenbau geht Herr Dangel auf die Grundlagen der Prozesskette der Werkzeugfertigung im Formenbau ein. Auch diese dargelegten Betrachtungsweisen werden in einem modernen Fertigungsbetrieb immer wichtiger, um einen wirtschaftlichen Produktionsbetrieb sicherzustellen. Warum? Nach wie vor ist der Werkzeug- und Formenbau in Deutschland eine Marke mit globalem Stellenwert. Die Gründe hierfür sind sicherlich vielfältig. Mit Sicherheit kann aber festgestellt werden, dass die Geheimnisse des Erfolgs für die Branche auf pfiffige Konstruktionen mit viel Know-how, fertigungstechnische Höchstleistungen und qualitätsrelevante Kriterien zurückzuführen sind. Damit Deutschland auch künftig ein weltweit wettbewerbsfähiger Produktionsstandort und ein Leitanbieter im Werkzeugbau sein kann, müssen in engem Austausch aller Beteiligten rasch Innovationsvorsprünge realisiert werden. So spielen Spritzgießwerkzeuge in der modernen Fertigungstechnik der produzierenden Industrie bereits heute eine Schlüsselrolle. Zukunftsvisionen wie Werkzeugbau 4.0 bietet nun die Chance, über eine intelligente Steuerung und Vernetzung die Flexibilität, die Ener-

gie- und die Ressourceneffizienz von Produktionsprozessen auf eine neue Stufe zu heben. Die Basis hierfür bildet aber eine solide Kenntnis über die Grundlagen von Konstruktion und Fertigungsverfahren im Werkzeugbau. Erst aufbauend auf diesem Wissen und Erfahrungsschatz können die oben genannten Themenfelder umgesetzt werden. Und genau hier setzt das Fachbuch von Herrn Dangel an. Was ist zu beachten, wenn ich ein Produkt in Form bringen möchte?

In dem hier vorliegenden Werk hat der Autor Rainer Dangel didaktisch als auch technisch einen neuen Weg im Bereich der Fachliteratur zum Werkzeugbau von Spritzgießwerkzeugen beschritten. Er vereinigt in sehr anschaulicher Weise die Theorie mit der Praxis, fragt immer nach den Inhalten „Wofür ist das Produkt relevant? Was muss technisch für welche Produktspezifikation gelöst werden?“ sowie nach der Methodik in der fertigungstechnischen Umsetzung. „Wie und womit kann ich im Werkzeugbau im Rahmen der Konstruktion und auch bei den Fertigungsverfahren eine Produktanforderung erfüllen?“ Durch die fachliche Kompetenz, die sich Herr Dangel über viele Jahre aufgebaut und erarbeitet hat, wird sehr schnell beim Studieren des Buches deutlich, dass die praktische Umsetzung des Beschriebenen einen sehr hohen Stellenwert hat. Basiswissen und Lösungsansätze werden ganzheitlich betrachtet. Vor- und Nachteile werden dargestellt und diskutiert. Der Erfahrungsschatz von 35 Jahren, angefangen mit einer Ausbildung zum Werkzeugmacher, über den Meisterbrief bis hin zum eigenen Unternehmen, fließen in dieses Fachbuch ein.

„Spritzgießwerkzeuge für Einsteiger“ der Titel des vorliegenden Werkes trifft ins Schwarze, und alte Hasen, die meinen hier auf eine Unterforderung zu stoßen, werden eines besseren belehrt.

Prof. Dr.-Ing. Thomas Seul

Vizepräsident für Forschung und Transfer an der Hochschule Schmalkalden und Präsident des Verbandes für den Deutschen Werkzeug- und Formenbau (VDWF e. V.)

(Quelle: wortundform)

Der Autor

Mit der Ausbildung zum Werkzeugmacher von 1976 bis 1980 begann Rainer Dangel seine berufliche Laufbahn im Formenbau. Bereits als junger Facharbeiter erkannte er die Möglichkeiten, in diesem technisch aufstrebenden Beruf etwas bewegen zu können. Den Grundstein legte er als 23-Jähriger mit dem Meisterbrief im Mechaniker Handwerk.

(Quelle: privat)

Der Einstieg in die Selbstständigkeit folgte 1987. Die anfangs kleine CNC-Fräserei für Formenbauteile entwickelte sich im Laufe weniger Jahre zu einem modernen, technisch hochwertigen Fachbetrieb zur Herstellung von Spritzgießwerkzeugen unterschiedlichster Anforderungen. Bereits 1995 wurde das erste 3D-CAD-CAM-System eingeführt und mit Erfolg eingesetzt.

Alle Fertigungsmöglichkeiten eines modernen Formenbaus gehörten nun zum Angebot. Rainer Dangel hatte es sich zur Aufgabe gemacht, diese selbst aktiv auszuüben, stets weiterzuentwickeln und zu perfektionieren. Im Jahr 2006 gliederte man eine eigene Kunststoffspritzerei an, um die Prozesskette bis zum fertigen Kunststoffteil auszubauen. Durch die Zertifizierung nach DIN EN ISO 9001:2008 im Jahr 2008 war sein Unternehmen in der Lage, unterschiedlichste Branchen zu bedienen. Unter anderem konnten Kunststoffteile für die Automobilindustrie nach VDA geprüft und freigegeben werden.

Im allgemein wirtschaftlich schwierigen Jahr 2010 wurde der Formenbaubetrieb eingestellt. Danach war Rainer Dangel mehrere Jahre bei der Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH in Nürtingen Leiter des Technologie Centers und für die Betreuung der Kunden im Formenbau- und Werkzeugbau zuständig.

Heute ist Rainer Dangel wieder im Bereich Formenbau- und Werkzeugbau tätig, als Berater und Lehrbeauftragter betreut er zwei Schwerpunkte. Das Projektmanage-

ment von der Teileentwicklung über die Werkzeugkonstruktion, den Werkzeugbau bis hin zum Produktionsstart von Kunststoffteilen. Zweiter Schwerpunkt ist die Aus- und Weiterbildung. Als Lehrbeauftragter an der Hochschule Reutlingen betreut er Masterstudenten im Maschinenbau. In jedem Semester werden im Fach Produktentwicklungsprojekt Kunststoffteile und die dazu gehörigen Werkzeuge entwickelt und teilweise auch hergestellt.

Ein weiteres, besonderes Steckenpferd des Autors ist das Fräsen, er beherrscht alle Bearbeitungsarten bis hin zum Programmieren und Fräsen von 5-Achs simultanen Bearbeitungen. Hierbei berät er Firmen bei der Optimierung der Prozesskette in der zerspanenden Bearbeitung.

Danksagung

Für die Unterstützung bei der Ausarbeitung dieses Buches möchte ich mich ganz herzlich bei meinen Kollegen des VDWF bedanken. Besonderer Dank geht an Prof. Dr.-Ing. Thomas Seul, Präsident des VDWF, für das Begleitwort.

VDWF
Die Werkzeugmacher

- Formenbau Schweiger GmbH & Co. KG, Uffing am Staffelsee, Anton Schweiger (Vizepräsident)
- Formenbau Rapp GmbH, Löchgau, Markus Bay (Vorstand Ausbildung)
- VDWF, Schwendi, Ralf Dürrwächter (Geschäftsführer)
- bkl-Lasertechnik, Rödental, Bernd Klötzer
- exeron GmbH, Oberndorf, Udo Baur
- GF Machining Solutions GmbH, Schorndorf, Gabriele Urhahn
- Hans Knecht GmbH, Reutlingen, Hans Knecht
- Hochschule Reutlingen, Prof. Dr.-Ing. Steffen Ritter
- MAKINO Europe GmbH, Kirchheim-Teck
- Meusburger Georg GmbH & Co KG, A-Wolfurt, Gerhard Krammel
- Reichle GmbH, Gravier- und Laserschweißzentrum, Bissingen, Volker Reichle
- Werz Vakuum-Wärmebehandlung GmbH, Gammertingen-Harthausen, Henry Werz
- Wortundform GmbH, München, Fabian Diehr
- 3D Systems Software GmbH, Ettlingen (früher Cimatron GmbH)

Sie sind keine Verbandsmitglieder, standen mir aber auch hilfreich zur Seite. Dafür ebenfalls herzlichen Dank:

- Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH, Nürtingen, Marcus Kurringer, Jörg Bauknecht
- Friedrich Heibel GmbH Formplast, Heuchlingen, Stefan Heibel
- Carl Hanser Verlag, München, Ulrike Wittmann, Jörg Strohbach

Jede neue Auflage lebt davon, dass Input von Lesern und Anwendern kommt. Deshalb herzlichen Dank auch an:

- Birgit Lins, Meusburger Georg GmbH & Co KG, A-Wolfurt
- Reinhard Weiß, Max-Eyth-Schule Kirchheim unter Teck

Das wunderbare Titelbild wurde von Jan Zenne erstellt.

Inhalt

Vorwort zur 3. Auflage ..... **V**

Begleitwort ..... **VII**

Der Autor ..... **IX**

Danksagung ..... **XI**

Hinweis zur Nutzung des Buches ..... **XIX**

1 Einleitung **1**

2 Werkzeugarten **5**

2.1 Einfaches Auf-Zu-Werkzeug 5
2.1.1 Klassischer Aufbau eines Auf-Zu-Werkzeuges 8
2.1.2 Führungen 10
2.1.3 Zwischenplatte 12
2.2 Werkzeug mit beweglichen Elementen 14
2.2.1 Hinterschnitt 14
2.2.2 Schieber 15
2.2.3 Schieberbetätigung 16
2.2.4 Rastnase, Clipverschluss 17
2.2.5 Schräglaufender Auswerfer 18
2.2.6 Zwangsentformen 20
2.2.7 Werkzeuggröße 21
2.3 Werkzeug für Gewinde 22
2.3.1 Außengewinde 23
2.3.2 Innengewinde 26
2.3.3 Antriebsarten zum Entspindeln 27
2.3.3.1 Hydraulische Ausschraubeinheit 27

2.3.3.2 Zahnstange ... 28
2.3.3.3 Steilgewindespindel ... 29
2.3.3.4 Mehrfachwerkzeuge ... 31
2.4 Mehrkomponenten-Werkzeuge ... 31
2.4.1 Materialpaarungen ... 32
2.4.2 Werkzeugtechnik ... 32
2.4.2.1 Technologie Umsetzen ... 32
2.4.2.2 Technologie Drehteller ... 35
2.4.2.3 Technologie Sperrschieber ... 38
2.4.2.4 Weitere Technologien ... 38
2.5 Etagen-Werkzeug ... 38
2.5.1 Materialkombinationen ... 39
2.5.2 Heißkanal ... 40
2.5.3 Öffnen und Schließen ... 41
2.5.4 Kniehebel ... 43
2.5.5 Auswerfen ... 44
2.5.6 Allgemeines zum Etagen-Werkzeug ... 44

3 Vorbereitung ... 47

3.1 CAD-System ... 47
3.2 Datentransfer, Behandlung und Aufbereitung ... 48
3.2.1 Datentransfer ... 49
3.2.2 Formate ... 49
3.2.2.1 IGES ... 50
3.2.2.2 STEP ... 50
3.2.2.3 STL ... 51
3.2.3 Datengröße ... 52
3.2.4 Schwindung ... 52
3.2.4.1 Schwindung (physikalischer Prozess) ... 53
3.2.4.2 Einflussgrößen ... 53
3.2.5 Berechnung und Auswirkung ... 55
3.2.5.1 Freie Schwindung, gehinderte Schwindung ... 57
3.2.5.2 Verzug ... 60
3.3 Festlegungen ... 64
3.3.1 Lage des Bauteils im Spritzgießwerkzeug ... 64
3.3.1.1 Entformungsrichtung ... 65
3.3.2 Anzahl der Kavitäten ... 68
3.3.3 Anordnung der Kavitäten ... 71
3.4 Materialauswahl für Spritzgießwerkzeuge ... 76
3.5 Formgröße ... 80

3.6 Plattendicke 84
3.7 Entformung 85
3.7.1 Grundprinzip Entformung 85
3.7.2 Entformungsschrägen 85
3.7.2.1 Definition 86
3.7.2.2 Wirkung auf das Öffnen des Werkzeugs 87
3.7.2.3 Entformungsschräge in der Trennung 88
3.7.2.4 Entformungsprobleme und Hilfen 90
3.8 Trennung 94
3.8.1 Ebene Trennung 94
3.8.2 Konturgebende Trennung 95
3.8.3 Trennungssprung 96
3.8.4 Druckplatten in der Trennung 98
3.8.5 Sichtbare Trennung 99
3.9 Anspritzen 101
3.9.1 Anspritzen und Anspritzpunkt 101
3.9.2 Simulation 103
3.9.3 Angusssystem, Angussart 110
3.9.3.1 Kaltkanal 111
3.9.3.2 Heißkanal 112
3.9.4 Angusskanal 113
3.9.5 Stange auf das Teil 115
3.9.6 Tunnelanguss 116
3.9.7 Filmanguss 121
3.9.8 Schirmanguss 122
3.9.9 Heißkanal Einzeldüse 124
3.9.10 Heißkanalverteiler 126
3.9.11 Heißkanalverteiler mit Nadelverschluss 128
3.9.11.1 Filmscharnier 132
3.9.12 Drei-Platten-Werkzeug 133
3.9.13 Angusseinsätze 136
3.10 Entlüftung 137
3.10.1 Entlüftung allgemein 137
3.10.2 Entlüftung über Elemente 140
3.10.3 Geometrische Ausführung von Entlüftungen 142

4 Bauelemente 145

4.1 Formeinsätze/Formkerne 145
4.1.1 Formeinsätze 145
4.1.2 Formkerne 151

4.2 Schieber ... 155
4.2.1 Einsatzgebiete von Schiebern ... 155
4.2.2 Aufbau eines Schiebers ... 157
4.2.2.1 Formkontur ... 159
4.2.2.2 Trennung am Schieber ... 160
4.2.2.3 Schieberkörper und Führung ... 162
4.2.2.4 Betätigung von Schiebern ... 164
4.2.2.5 Endlagensicherung ... 170
4.2.2.6 Kühlung im Schieber ... 173
4.2.3 Weitere Schieberkonzepte ... 174
4.2.3.1 Schieber-im-Schieber ... 175
4.2.3.2 Rucksackschieber ... 177
4.3 Auswerfer ... 179
4.3.1 Formen der Auswerfer ... 182
4.3.2 Auswerfer als Hilfsmittel ... 186
4.3.3 Schräglaufende Auswerfer ... 188
4.3.4 Abstreiferplatte ... 190
4.3.5 Zwei-Stufen-Auswerfer ... 192
4.3.6 Faltkerne ... 194
4.3.7 Zwangsentformung ... 195
4.4 Temperierung ... 196
4.4.1 Temperierung, Art und Hilfsmittel ... 199
4.4.1.1 Gebohrte Kühlung ... 201
4.4.1.2 Kreisläufe umlenken ... 203
4.4.1.3 Kupferkerne ... 208
4.4.1.4 Heizpatronen ... 209
4.4.1.5 Kreisläufe verbinden ... 210
4.4.2 Temperierbohrungen anschließen und abdichten ... 211
4.5 Einbauteile und Beschriftung ... 213
4.6 Oberfläche ... 215
4.6.1 Rohe Oberfläche ... 216
4.6.2 Erodieren ... 217
4.6.3 Narbung ... 219
4.6.4 Lasertextur ... 220
4.6.5 Polieren ... 221
4.7 Systematisches Vorgehen Konstruktion ... 222
4.7.1 Strategie ... 222
4.7.2 Normteile ... 224
4.7.3 Fertigungsteile ... 226

5 Montage ... 229

5.1 Systematische Montage ... 229

5.2 Tuschieren ... 234

5.3 Anschließen von Bauteilen ... 236

5.4 Kühlung auf Dichtheit prüfen ... 240

6 Weiteres Wissen ... 243

6.1 Prozesskette im Formenbau ... 243

6.2 Beschaffungsprozess im Formenbau ... 245

6.2.1 Administration ... 245

6.2.2 Vorbereitung ... 247

6.2.3 Fertigung ... 248

6.2.4 Bemusterung – Optimierung ... 249

6.3 Qualitätssicherung ... 251

6.4 Passungen, Spiel im Werkzeug: Was muss passen? ... 253

6.5 Wärmebehandlung ... 258

6.5.1 Glühen ... 259

6.5.2 Härten ... 260

6.5.3 Nitrieren ... 262

6.6 Beschichtungen ... 264

6.7 Änderungen: Was ist zu beachten? ... 265

7 Das fertige Werkzeug ... 269

7.1 Abmusterung ... 269

7.1.1 Aufspannen und Anschließen der Medien ... 269

7.1.2 Füllen des Werkzeuges ... 272

7.1.2.1 Formnester balancieren ... 274

7.1.2.2 Optimieren der Parameter ... 276

7.1.2.3 Einflüsse auf den Spritzprozess ... 277

7.1.3 Parameter beim Spritzen ... 278

7.1.4 Kräfte im Werkzeug beim Prozess ... 279

7.1.5 Erstmusterprüfbericht ... 280

7.2 Schilder am Werkzeug ... 281

8 Wartung und Reparatur ... 283

8.1 Wartungsplan ... 283

8.2 Schweißen ... 284

8.2.1 Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG) 284
8.2.2 Laserschweißen 285
8.3 Bauteile ersetzen 287

9 Fertigungstechnologien 289
9.1 Fräsen 289
9.1.1 3-Achs-Fräsen 291
9.1.2 4- und 5-Achs-Fräsen 293
9.1.2.1 4-Achs-Fräsen 293
9.1.2.2 5-Achs-Fräsen 294
9.1.2.3 3+2-Achs-Fräsen 295
9.1.2.4 5-Achs-Simultanfräsen 296
9.1.3 CAM-Programmierung 298
9.2 Erodieren 302
9.2.1 Senkerodieren 303
9.2.2 Drahterodieren 305
9.3 Schleifen/Profilschleifen 306
9.4 Bohren/Tieflochbohren 307
9.5 Drehen 309
9.6 Neue Technologien 310
9.6.1 Lasercusing/Lasergenerieren 310
9.6.2 Vakuumlöten 312
9.7 Polieren 313

10 Praktische Richtlinien 315
Checkliste Konstruktion 317
Farbtafel Konstruktion 318
Funktionsablaufplan 319
Wartungsplan 320
Formeln und Berechnungen 321

Index 323

Hinweis zur Nutzung des Buches

In diesem Buch wird das *Planen*, *Konstruieren* und *Bauen* von Spritzgießwerkzeugen erklärt und beschrieben. Es handelt sich dabei ausschließlich um Spritzgießwerkzeuge für die Thermoplastverarbeitung.

Der Begriff *Spritzgießwerkzeug* wird in diesem Buch der Einfachheit halber auch nur *Werkzeug* genannt, bedeutet aber dasselbe. Der Begriff Werkzeug hat sich in der Fachwelt etabliert und wird dort auch vorwiegend verwendet.

Alles wird realistisch und nachvollziehbar beschrieben und erklärt. Eine Kunststoffdose mit Deckel ist Grundlage für fast alle Erläuterungen. Die Zeichnungen und Konstruktionen in denen diese beiden Kunststoffteile enthalten sind, wurden extra für dieses Buch angefertigt. Die Dimensionen der konstruierten Werkzeuge und die technischen Details sind real, die Spritzgießwerkzeuge könnten so gebaut werden. Anhand dieser beiden, oder einem dieser Teile, wird so viel als möglich gezeigt und erklärt.

Es gibt Beispielberechnungen für die Planung und Auslegung von Spritzgießwerkzeugen. Unterschiedliche Funktionen und Elemente beim Konstruieren werden detailliert erklärt. Mit steigendem Anspruch an die Technik im Werkzeug wachsen die beiden Teile mit, somit gibt es immer einen Bezug zu den vorherigen Themen. Wächst das Teil und/oder das Werkzeug, ist der Grund klar erkennbar.

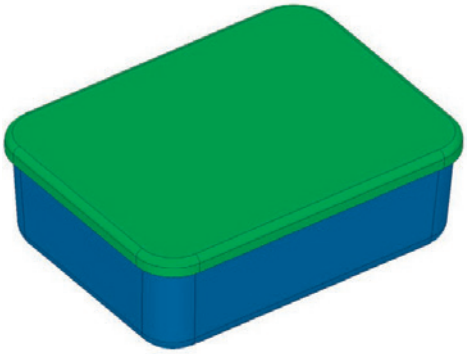

Bild 1 Dose mit Deckel

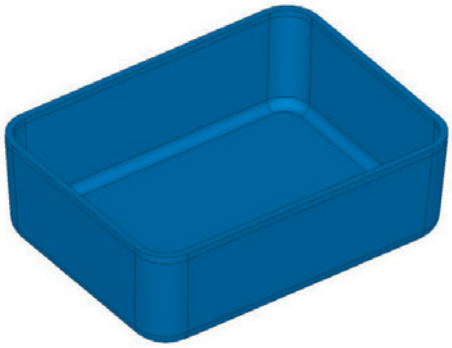

Bild 2 Dose

Bild 3 Deckel

Es gibt weiterführende Kapitel bei denen bestehende Konstruktionen von tatsächlich angefertigten Spritzgießwerkzeugen die Grundlage für die Erklärungen sind.

Ein weiterer Hinweis zur Darstellung der Bilder und Zeichnungen: Die meisten Bilder sind Auszüge aus dem *3D-Volumenmodel der CAD-Daten*. Die darauf dargestellten Schnitte sind nicht nach DIN Norm. Man muss sich vorstellen, dass an der angegebenen Stelle das Model abgeschnitten wurde. Es ist nur das sichtbar, was direkt an der Schnittstelle zu sehen ist.

Die Ausfertigung von technischen 2D-Zeichnungen werden in der DIN ISO 5455 geregelt. Der deutlich sichtbare Unterschied ist, in einer 2D-Zeichnung werden Normteile, wie Schrauben, Bolzen, Stifte usw. nicht schraffiert dargestellt. Runde Bauteile haben eine Mittellinie und sichtbare Kanten werden mit einer stärkeren Strichstärke dargestellt. In der 2D-Zeichnung können auch unsichtbare Kanten von Bauteilen gezeigt werden, die nicht direkt im Schnitt zu sehen sind. Man stellt diese unsichtbaren Kanten mit gestrichelten, dünneren Linien dar.

In Bild 4 werden die beiden Varianten der Darstellung gezeigt. Links eine 2D-Zeichnung wie man sie aus der Werkstatt kennt und rechts der Schnitt durch das 3D-Volumenmodel.

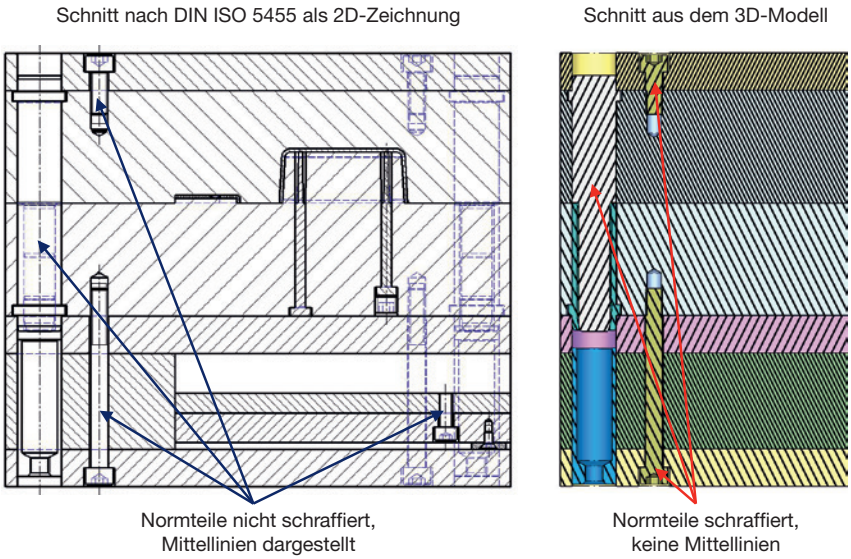

Bild 4 Schnittansicht einer 2D-Zeichnung und Schnitt durch das 3D-Volumenmodel

1 Einleitung

„Wo kommen eigentlich diese ganzen Plastik- oder Kunststoffteile her? Wer macht die und wie werden diese Kunststoffteile überhaupt angefertigt?“ Fragen die sich wohl kaum jemand stellt. „Was sind das für kleine Kringel an oder in dem Kunststoffteil, wozu sind die? Dann ist da noch eine kleine Stelle, die aussieht als wäre etwas abgerissen oder abgeschnitten worden“. Das alles sind Merkmale die sich in der Fertigung der Kunststoffteile ergeben und an jedem Teil sichtbar sind. Für diese Fertigung wird außer einer *Spritzgießmaschine* und *Kunststoffgranulat* eines gebraucht: ein *Spritzgießwerkzeug*.

Lässt man einmal einen Tag Revue passieren und denkt darüber nach wie viele Kunststoffteile man in der Hand gehalten hatte, dann kann man erahnen, dass es eine nicht zu beziffernde Anzahl von Spritzgießwerkzeugen gibt und welche Vielfalt es an Spritzgießwerkzeugen in den unterschiedlichsten Branchen, Anwendungen oder Lebenslagen geben muss.

Für jedes Kunststoffteil, das hergestellt wird, gibt es das dazugehörige Spritzgießwerkzeug. Es gibt also mindestens so viele Spritzgießwerkzeuge wie unterschiedliche Kunststoffteile, weltweit. Trotzdem ist jedes Spritzgießwerkzeug ein Unikat, eine unvorstellbare Menge und täglich werden es mehr.

Oder anders beschrieben, man stellt sich gedanklich in die Küche, ins Bad, ins Büro oder setzt sich ins Auto. Jetzt denkt man sich alle Kunststoffteile mal weg. Was bleibt da noch übrig? Es bleibt nicht mehr viel übrig von allem, was man da sieht.

Mal konkret gesprochen: Beginnen wir am frühen Morgen. Bereits vor dem Aufstehen drückt man den Knopf auf dem Wecker. Schon hat man die erste Berührung mit einem Kunststoffteil. Weiter geht es mit dem Zähneputzen. Die Zahnbürsten von heute werden, obwohl so nicht erkennbar, mit sehr komplexen und komplizierten Spritzgießwerkzeugen hergestellt. Die herkömmlichen Zahnbürsten mit automatisch eingelegten Borsten sind da noch die einfachere Variante. Beim Herstellen der elektrischen Zahnbürste werden in einem sehr komplizierten Verfahren zwei

unterschiedliche Kunststoffe nacheinander in ein Spritzgießwerkzeug gespritzt, um die rotierenden Bürsten in dem kleinen Bürstengehäuse, vorne zu fertigen.

Föhn, Kaffeemaschine, Wasserkocher, Kühlschrank, Herd, Backofen, um nur ein paar Gebrauchsartikel des täglichen Lebens aufzuzählen. Steigt man in das Auto ein, hat man beim Öffnen der Türe den nächsten Kontakt mit Kunststoffteilen. Das Innere des Wagens, ohne Spritzgießwerkzeuge nicht vorstellbar. Sitze, Lenkrad, Schalter, Knöpfe, Griffe, Hebel, Blenden, Armaturen, Abdeckungen, Ablagen usw. eine unzählige Anzahl von Spritzgießwerkzeugen werden für die Herstellung eines Fahrzeugs verwendet.

Im direkten Umfeld am Arbeitsplatz egal ob in der Werkstatt, im Büro oder in der Schule; auch hier Kunststoffteile – egal was man in der Hand hält oder benutzt. Computer, Tastatur, ob an der Maschine oder auf dem Schreibtisch. Überall Dinge aus Kunststoff, in den unterschiedlichsten Farben, Konturen, Formen und auch Härtegraden. Vom harten und stabilen Gehäuse des Druckers bis zur weichen flexiblen Schutzhülle für das Handy.

Ganz abgesehen vom Kinderzimmer, nahezu alle Spielkisten der Kleinen sind voll mit Spielsachen aus Kunststoff: Bausteine, Spielfiguren, Rennbahn, Puppen, Spielekonsole usw. Kunststoffteile, egal was man tut oder wo man ist. Sie begleiten uns durch den ganzen Tag. *Überall Kunststoffteile, ohne die das ganz normale Leben nicht mehr vorstellbar wäre.*

Die Aufzählung ließe sich beliebig fortsetzen. Jeder kommt den ganzen Tag über bewusst oder unbewusst in Berührung mit Kunststoffteilen, aber keiner macht sich über deren Herkunft Gedanken. Und das obwohl ein riesiger weltweiter Industriezweig dahinter steht. Es sind nicht nur die Hersteller von Spritzgießwerkzeugen, die es auf der ganzen Welt gibt. Auch große Konzerne, die die Maschinen zum Fertigen der Kunststoffteile herstellen und sehr große Chemie-Konzerne entwickeln und fertigen immer neue Kunststoffe für die unterschiedlichsten Anwendungen. Millionen von Menschen sind in dieser so unscheinbaren Welt zuhause.

Durch die Entwicklung von immer besseren und technisch hochwertigeren Kunststoffen werden es immer mehr Anwendungsmöglichkeiten. Blechteile aus Stahl oder Aluminium werden zunehmend durch Teile aus Kunststoff ersetzt. Halterungen aus Metall, an denen im Motorraum eines Autos Kabel, Leitungen, Behälter oder ähnliches befestigt werden, ersetzt man heute durch hochfeste Kunststoffteile.

Ein weiterer Punkt, dass sich diese Entwicklung sicher noch lange fortsetzen wird, ist der Fortschritt in der Herstellung von Biokunststoffen. Vereinfacht gesagt, bei Biokunststoffen wird der Grundstoff Erdöl durch biologisch gewonnene Öle ersetzt. Diese Öle werden aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen und sind auch biologisch abbaubar. Bislang gibt es nur vereinzelte Anwendungen, die oftmals nur mit wissenschaftlichen Fakultäten erforscht werden. Das Ganze ist also noch im

Stadium der Entwicklung. Allein schon aus der Rohstoffthematik heraus wird dem Biokunststoff eine große und wichtige Zukunft vorausgesagt.

Der meist entscheidende Vorteil eines Kunststoffteils liegt darin, dass nach der Fertigung bzw. dem Spritzprozess ein einbaufertiges Teil aus der Spritzgießmaschine kommt. Die Herstellzeit für so ein Teil beträgt meist nur wenige Sekunden. Dies schlägt sich dann auch auf den sehr viel günstigeren Preis pro Teil nieder. Aber – und jetzt kommen wir wieder auf den Inhalt dieses Buches zurück – der ganze Erfolg dieses Prozesses ist von einem *qualitativ hochwertigen Spritzgießwerkzeug* abhängig.

Index

Symbole

2,5-Achs-Fräsen **291**
2D-Zeichnungen **47**
2-K-Werkzeug **31**
3+2-Achsen-Fräsen **295**
3-Achs-Fräsen **292**
3D-Daten **47**
3D-Konstruktion **47**
3-K- oder 4-K-Werkzeug **32**
4-Achs-Fräsen **293**
5-Achs-Bearbeitungszentrum **290**
5-Achs-Fräsen **294**
5-Achs-Simultanfräsen **296**
5-Achs-Simultan-Walzfräsen **296**

A

Abmusterung **243, 269**
abrasive Kunststoffe **78**
Abstreiferplatte **190, 195**
Aluminium **76**
Anbindung **74**
Änderungen am Spritzgießwerkzeug **265**
Anguss **72, 74, 101**
Angussart **110**
Angussauswerfer **188**
Angusseinsätze **136**
Angusskanal **74, 103, 113**
Angusslänge **136**
Angusspicker **102, 133**
Angussspinne **134**
Angussstange **115**
Angussstrang **102**
Angusssystem **110**
Anlasstemperatur **260**
Anordnung **75**
Anordnung der Kavitäten **71**
Anschließen von Bauteilen **236**
Anschlussnippel **211**
Anspritzen **101**
Anspritzpunkt **101, 138**
Anzahl der Kavitäten **68, 80**
Arten der Wärmebehandlung **259**
Ätzstruktur **100**
Ätzverfahren **219**
Aufbau eines Schiebers **157**
Auftragsbestätigung **246**
Auf-Zu-Werkzeug **5**
Ausbringungsmenge **69 f., 76**
Ausschraubeinheit **26, 31**
Ausschwemmung **78**
Außengewinde **22 f.**
Auswerfer **9, 18, 67, 90, 179**
Auswerferabdrücke **90**
Auswerfer als Entlüftung **141**
Auswerfer als Hilfsmittel **186**
Auswerferbolzen **269**
Auswerferdeckplatte **180**
Auswerferei **271**
Auswerferführung **136**
Auswerfergrundplatte **180**
Auswerferpaket **8, 18, 180**
Auswerferseite **6, 8**
Auswerferstifte mit Kugelkopf **134**

B

becherförmige Kunststoffteile **6**
Bemusterung **269**
Beryllium-Kupfer **155, 209**
Beschaffungsprozess **245**
Beschichtungen **264**
Beschriftung **213**
Beschriftungsart **214**
Bestellung **246**
Betätigung von Schiebern **164**
bewegliche Einbauteile **14**

Bewegungsablauf 5, 43, 271
Bindenaht 103, 129
Biokunststoffe 2
Bohren 307
Brennstellen 277

C

CAD
– Daten 298
– Modell 299
– Programm 47
– System 47
CAD-CAM-System 47, 225
CAM
– Programm 298
– Programmierung 298
– System 298
CE-Kennzeichnung 247
Checklisten 315
Clipverschluss 17
Cloud 49
CNC-Programm 289

D

Datengröße 52
Datenmenge 48
Datentransfer 48
Datumsstempel 214
Dauerfestigkeit 145
Dauerläufer 78
Dichtung 36
Dielektrikum 302
Dieseleffekt 277
DIN 912 146
DIN 16742 57
DIN 66217 291, 293
DIN ISO 5455 XX
direkte Anspritzung 73
Distanzleisten 8
Distanzrollen 84
Distanzscheiben 181
Dome 67, 86
Dosierung 273
Drahterodieren 302, 305
Drehen 309
Drehteller 36
Dreiecksfacetten 51
Drei-Platten-Werkzeug 133
drückende Auswerfer 180
Druckplatten 98, 234
Durchbruch 15
Düsenradius 269
Düsenseite 6, 8
DXF 49

E

ebene Trennung 94
Eckenverzug 63
Einbauhöhe 269
Einbrand 285
Einfallstelle 154
eingeschraubter Kern 155
Einspritzen 74
Elektrode 217, 303
Endlage 16, 100, 172
Endlagensicherung 170, 189
Endmontage 236, 248
Endschalter 236
Energieeffizienz 271
entformt 14
Entformung 85
Entformungsprobleme 90
Entformungsrichtung 6, 65
Entformungsschräge in der Trennung 88
Entformungsschrägen 85
Entlüftung 137, 147, 160, 186, 277
Entlüftung am Auswerfer 143
Entlüftung in der Trennung 143
Entlüftungseinsatz 142
Entlüftungskanal 140
Entlüftung über Elemente 140
Entspindeln 26 f.
Erodieren 92, 217, 302
Erodierstruktur 100
Ersatzteilbeschaffung 247
Ersatzteile 284
Erstbemusterung 281
Erstmusterprüfbericht 250, 280
Etagen-Werkzeug 38, 69

F

Fachzahl 69
falsche Seite 93
Faltkern 26, 194
Farbtafel Konstruktion 315
Feder im Schieber 172
federnde Auswerfer 184
Fehlerquote 251
Fertigungskosten 13
Fertigungstechnologien 289
Fertigungsteile 226
Festlegungen 64
Fettfilm 164
Fetttaschen 164
Filmanguss 121
Filmgelenk 132
Filmscharnier 129, 132
Fixierung von Kernstiften 13
Flachauswerfer 141, 183
flache Kunststoffteile 6
Flächenmodellierer 50
Flachschleifen 307

Formeinsätze 14, 145
Formeinsätze aufteilen 145
Formeln und Berechnungen 316
Formgröße 22, 80
Formhälften 10
Forminnendruck 82, 279
Formkerne 26, 151
Formkerne in Schiebern 157
Formkontur 15, 159
Formnester balancieren 274
Formplatte 8
Formtrennung 94
Formversatz 10
Fräsbahnen 300
Fräsbild 92
Fräsen 92, 289
Fräskopf 295
Fräsmaschine 291
Fräsrichtung 92
Frässtruktur 216
freie Schwindung 57
Freigabe 250
Freistrahl 117
FTP-Server 49
Führungen 10, 162
Führung im Spritzgießwerkzeug 163
Führungsbolzen 10
Führungsbuchsen 8
Füllsimulation 103
Füllstoffe 53
Füllstudie 130, 273
Funktionsablaufplan 316

G

gebohrte Kühlung 201
Gefügeveränderungen 259
gehinderte Schwindung 57
gesteuerte Nadel 128
Getriebe 38, 42
Gewindehälften 24
Gewindestift 12
Glasfaser 53
Glaskugel 53
Gleitführungen 41
Gleitschuh 41, 43
Glühen 259
Grafit 217, 303
Größe der Daten 47
größere Einbauhöhe 45

H

harte Komponente 33
Härten 145, 260
hart-weich 32
Hauptentformungsrichtung 5, 14, 88, 179
Heißkanal 40, 112
Heißkanal Einzeldüse 124
Heißkanal mit Nadelverschluss 35
Heißkanalverteiler 126
Heißkanalverteiler mit Nadelverschluss 128
Heizpatronen 209
Herstellungskosten 12
Hilfsauswerfer 120
Hilfsrippe 119
Hinterschneidungen 14, 18
Hinterschnitt 14, 24
Hochglanzpolieren 313
Hülsenauswerfer 139, 183
Hydraulikanschlüsse 239
Hydraulikzylinder 16, 28, 168, 178
hydraulische Ausschraubeinheit 27

I

IGES 49 f.
Innengewinde 22, 26

K

Kabel 237
Kalter Pfropfen 116
Kaltkanal 111
Kaltkanalverteiler 113
Kantenläge 22
Kernstifte 12, 14
Kernzüge 270
kleinste Entformungsschräge 86
Klinkenzug 233
Kniehebel 43
Konstruktion 47
Konstruktionsbesprechung 247
Konstruktionselemente 48
Konturänderung 151
Konturauswerfer 185
Konturgebende Trennung 95
Konvertieren 50
Korrektur von Stichmaßen 152
Kosten 17, 21, 69, 124, 127
Kosten ermitteln 266
Kräfte im Werkzeug 279
Kreisläufe umlenken 203
Kreisläufe verbinden 210
Kugelmittnehmer 134
Kugelraster 172
Kühlkern 151
Kühlkreisläufe 199
Kühlung 148, 199
Kühlung auf Dichtheit prüfen 240
Kühlung im Schieber 173
Kühlzeit 277

kunststoffgerecht konstruiert 65, 85
Kunststoffgranulat 1
Kunststoffteile 1
Kupfer 217, 303
Kupferkerne 208
Kupferlegierung 151

L

Lage des Anspritzpunktes 102
Längenauswahl der Führungsbolzen 11
Langloch 176
Längsrichtung 56
Lasercusing 310
Lasergenerieren 310
Laserschweißen 285
Lasertextur 220
laufende Wartung 283
Lebensdauer 76
Leitbild 251
Leitgewinde 28
Leitmutter 28 f.
Lufteinschlüsse 103
Luftventil 91

M

Maschinenbett 41, 43
Maschinendüse 40
Maschinengröße 70, 80
Massetemperatur 277
Materialanhäufung 75
Materialauswahl 52
Materialauswahl für Spritzgießwerkzeuge 76
Materialpaarungen 32
Mehrfachwerkzeug 31, 74
Mehrkomponenten-Werkzeuge 31, 38
Meilenstein 248
Messdruck 240
Mittelauswerfer 188
Montage 229
– abhängig/unabhängig 227
– von innen nach außen 227
Musterwerkzeug 76, 145

N

Nachdruck 53, 272
Nachschwindung 54
Narbung 219
NC-Daten 47
Nebenentformungs-richtung 6
neutrales Datenformat 48
nicht werkzeuggebundene Maße 57
Nitrieren 262
Normen 252
Normteile 224

O

Oberfläche 67, 92, 100, 215
Öffnen und Schließen 41
ohne Beschädigung 67
Optimieren der Parameter 276
O-Ring 148, 230, 240

P

Parameter 271
Passgenauigkeit 254
Passleisten 254
Passungen 231, 253
Peitschenanguss 136
Pflichtenheft 247
Pilotbohrer 308
plastifiziert 5
Plattendicke 84
Polieren 92, 221, 313
Postprozessor 301
praktische Richtlinien 315
Prallwand 117
Präzision 100, 253
Presspassung 253
produktionstypischer Zyklus 273
Profilschleifen 307
projizierte Fläche 171
Prozesskette 243

Q

Qualitätssicherung 251
Querbohrung 148
Querkräfte 156
Querrichtung 56
Querschnitt des Kaltkanal-verteilers 114

R

Rampe 160, 255
Rand am Formeinsatz 147
Raster 172
Rastnase 17
Rechte-Hand-Prinzip 293
Reparatur 287
Restkühlzeit 278
resultierende Bewegung 16, 18
Riffelung 26
Ringanguss 123
Rippen 67, 86, 141
rohe Oberfläche 216
Rohlinge 33, 36
Rohstoffpreise 102
rostfreie Stähle 79
Rückdrücker 187
Rucksackschieber 177
Ruß im Werkzeug 277

S

Schieber 14 f., 24, 81, 97, 155
Schieberbetätigung 16
Schieberbreite 164
Schieberführung 25, 232
Schieber-im-Schieber 175
Schieberkörper 162
Schiebersicherung 173
Schieber-Werkzeug 15
Schilder am Werkzeug 281
Schirmanguss 122
Schläuche 237
Schleifen 306
Schlichtbearbeitung 296
Schlichtfräsen 295
Schließkeil 81
Schließkeilfläche 170
Schließkraft 71
Schmelztemperatur 126
Schmierung 164
Schnecke 272
Schnellverschluss-kupplungen 211, 239
Schrägbolzen 16, 24
schräge Auswerfer 14
schräglaufende Kontur-auswerfer 231
schräglaufender Auswerfer 18 f., 179, 185, 188
Schrägsäule 156, 164, 176
Schrägsäule mechanisch 166
Schraubbewegung 26 f.
Schrauben 9
Schraubkappe 23
Schraubkupplung 23
Schruppfräsen 295
Schweißen 284
Schwenk-Rundtisch 297
Schwierigkeitsgrad des Kunststoffteils 69
Schwindung 52, 66, 103
seitliche Öffnung 15
Selbsthemmung 147
Senkerodieren 303
Serienwerkzeug 145
Server 49
sichtbare Trennung 99
Sichtprüfung 240
Sichtseite 67
Siegelpunkt 273
Silikon 55
Simulation 60, 102 f., 301
Simulationsprogramm 60
Spannplatte 8, 36
Spannpratzen 270
Sperrschieber 38
Spielpassung 253
Spindelantrieb 30
Spiralkern 206
Spritzdruck 53, 82
Spritzgießmaschine 1
Spritzgießwerkzeug 1
Spritzgrat 71, 274
Spritzzyklus 5
Sprudler 205
Stange auf das Teil 115
Stauboden 118
Stecker 237
Steckverbindung 211
Steilgewindeantrieb 30
Steilgewindemutter 29
Steilgewindespindel 26, 29, 31
STEP 48, 50
STL 51

T

Talkum 53
Taschengrund 230
Technologie Drehteller 35
Technologie Sperr-schieber 38
Technologie Umsetzen 32
Temperatur des flüssigen Kunststoffes 53
Temperaturhaushalt 125, 127, 196, 277
Temperaturhaushalt des Werkzeugs 53
Temperieranschlüsse 239
Temperierung 196
T-Führung 162
Thermofühler 236
Tieflochbohrer 308
TiN-Beschichtung 264
Toleranzen 10, 57
tote Ecken 126
Transportbrücke 237, 270
Trennblech 200, 204
Trennfläche 25
Trennung 94, 234
Trennung am Schieber 160
Trennungsrand am Formeinsatz 99
Trennungssprung 96
Tunnelanguss 102, 116
Tunnel in der Auswerfseite 116
Tunnel in der Düsenseite 116
Tuschieren 234
Tuschierfarbe 234
Tuschierrand 235

U

Übergabedüse 126
Übergabestelle 40
Überspritzung 71
Umlenkelemente 210
Umschaltpunkt 273

Umsetzen 32
USB-Speichern 250
USB-Stick 49

V

Vakuum 87, 91, 93, 147
Vakuumhärten 260
Vakuumlöten 312
VDI 3400 217, 303
Verarbeitungsschwindung 54
Verblockungen 156
verdrängte Luft 137
Verdrehsicherung 11
Verhältnis
– Schrägsäule/Schließkeilfläche 168
Verkrallungen 93
Verschleiß 287
Verschließen einer Kühlbohrung 149
Verschlussnieten 212
Verschlussstopfen 211
versetzte Trennung 100
Verteiler 126
Verteilerbalken 126
Verzögerung 176
Verzug 60, 103
Verzug bewerten 60
Vickers 263
Vision 251
volumetrisches Füllen 273
vorausschauende Wartung 284

W

Wandstärke 10, 53, 63
Wärmeaustausch 197
Wärmebehandlung 258
Wärmeleitrohre 208
Wartungsplan 283, 316
Wechselkern 152
weiche Komponente 33, 37
weiches Material 33
Weißbruch 91
Werkzeugarten 5
Werkzeug-Dokumentation 247
Werkzeuge mit beweglichen Elementen 14, 26
Werkzeug für Gewinde 22
werkzeuggebundene Maße 57
Werkzeuggröße 21
Werkzeug mit Drehteller 35
Werkzeugplan 271
Werkzeugsicherung 270
Werkzeugtemperatur 53, 104, 277
Wiederverwertung 102
WIG-Schweißen 284
wirksame Kraft 82
Wirtschaftlichkeitsrechnung 70, 127

Z

Zahnrad 28 f.
Zahnstange 26, 28, 31
Zentrierflansch 269
Zentrierungen 100, 280
Zentrische Aufspannung 71
ziehende Auswerfer 180
Zubringer 40
Zuhaltekraft 82
Zusammenbau 232
zusätzliche Entformungsrichtungen 5, 15
zusätzliche Zentrierungen 100
Zwangsentformung 20, 195
Zwangssteuerung 16, 24, 164
zwei Aggregate 33
Zwei-Komponenten-Werkzeug 31
Zwei-Stufen-Auswerfer 192
zweite Entformungsrichtung 14
zwei Trennebenen 38
Zwischenplatte 8, 12
Zyklus 33
zyklusbestimmend 75
Zykluszeit 276
Zylinder 165