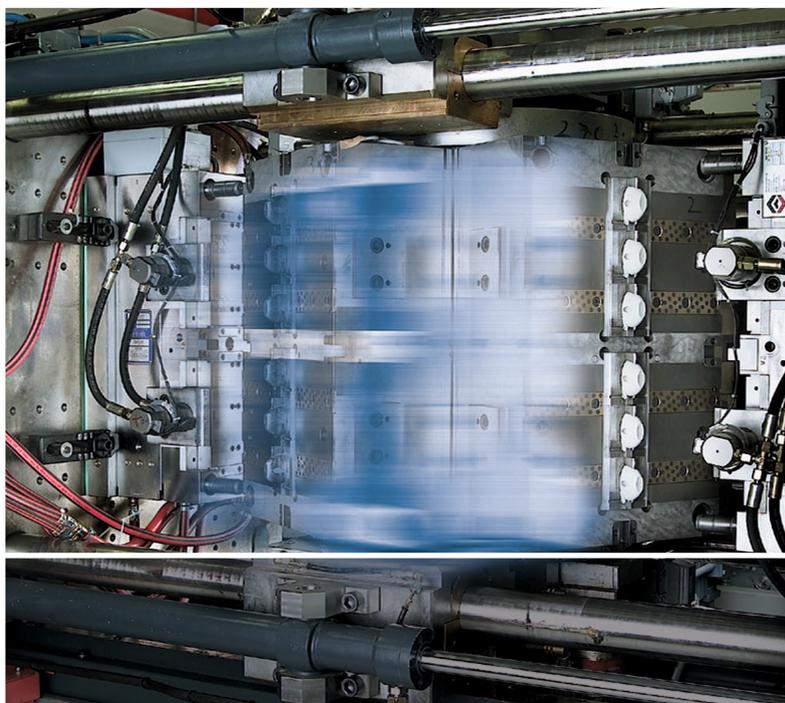


Christoph Jaroschek

# Spritzgießen für Praktiker



5., überarbeitete Auflage

HANSER



Jaroschek  
**Spritzgießen für Praktiker**



**Bleiben Sie auf dem Laufenden!**

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

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

## **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***

Christoph Jaroschek

# **Spritzgießen für Praktiker**

5., überarbeitete Auflage

HANSER



Print-ISBN: 978-3-446-47960-9

E-Book-ISBN: 978-3-446-48056-8

Alle in diesem Werk enthaltenen Informationen, Verfahren und Darstellungen wurden zum Zeitpunkt der Veröffentlichung nach bestem Wissen zusammengestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Werk enthaltenen Informationen für Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht. Ebenso wenig übernehmen Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt also auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benützt werden dürften.

Die endgültige Entscheidung über die Eignung der Informationen für die vorgesehene Verwendung in einer bestimmten Anwendung liegt in der alleinigen Verantwortung des Nutzers.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

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

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Werkes, 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 UrhG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Wir behalten uns auch eine Nutzung des Werks für Zwecke des Text- und Data Mining nach § 44b UrhG ausdrücklich vor.

Aufgrund der besseren Lesbarkeit haben wir auf eine gendergerechte Sprache verzichtet. Selbstverständlich sprechen wir in diesem Buch alle Personen an.

© 2024 Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München

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

Lektorat: Dr. Mark Smith

Herstellung: Cornelia Speckmaier

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

Covergestaltung: Max Kostopoulos

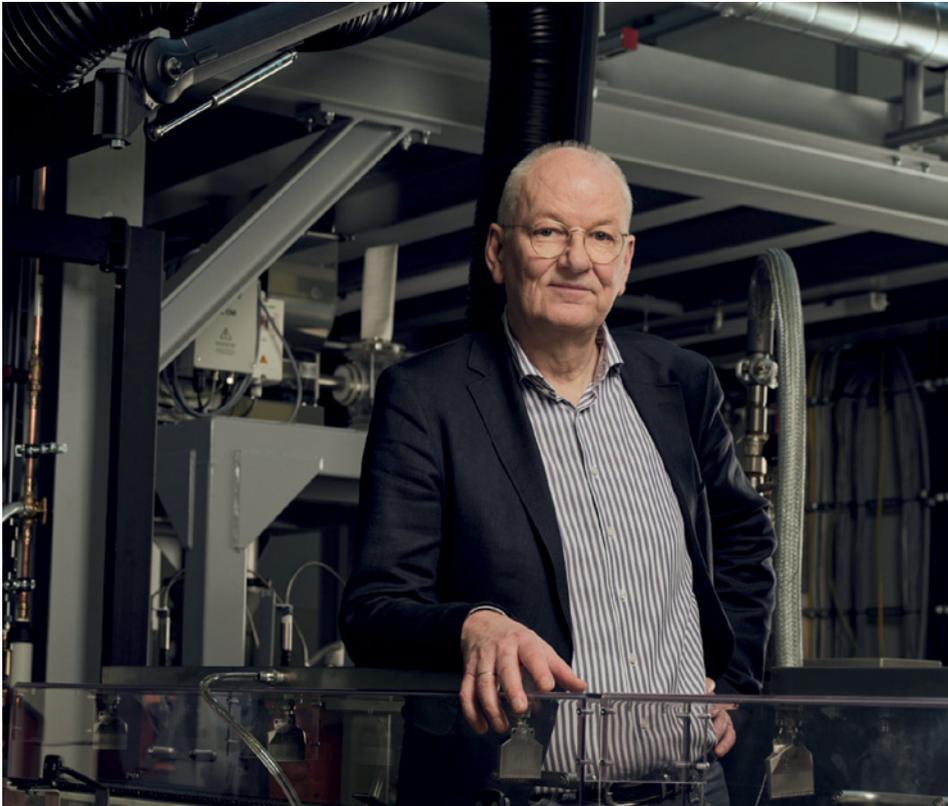
Titelmotiv: © Wilden AG

Satz: le-tex publishing services GmbH, Leipzig

Druck: CPI Books GmbH, Leck

Printed in Germany

## Der Autor



**Prof. Dr. Christoph Jaroschek** arbeitete nach seinem Maschinenbaustudium elf Jahre als Leiter der Anwendungstechnik und Verfahrensentwicklung bei einem namhaften Maschinenhersteller, im Bereich Spritzgießverfahren. Seit 1998 ist er Professor für Kunststoffverarbeitung der Hochschule-Bielefeld (ehemals FH Bielefeld), im Fachbereich Ingenieurwissenschaften und Mathematik.



# Vorwort

Diesen Leitfaden für den Praktiker an der Spritzgießmaschine habe ich mit viel Motivation und Engagement geschrieben. Einerseits hat ein solches Buch, nämlich eine echte Hilfe für den Maschineneinrichter, bislang gefehlt. Andererseits wollte ich, nachdem ich lange Jahre als Leiter der Anwendungstechnik eines bedeutenden Maschinenherstellers die Probleme der Praxis kennengelernt habe, meine Erfahrungen weitergeben.

Bei der Arbeit an den einzelnen Kapiteln ist mir klargeworden, warum es bis heute keine geeignete Anleitung zum Spritzgießen gibt. Für einen solchen Leitfaden muss man den Mut haben, klare Anweisungen zu geben. Hier liegt das eigentliche Problem, denn beim Spritzgießen erlebt man immer wieder „Überraschungen“. Auch der erfahrene Einrichter bleibt davon nicht verschont. Mit der Veränderung eines Maschineneinstellwertes will er eine entscheidende Verbesserung des Prozesses hinbekommen, aber der Praxistest führt in Wirklichkeit zu einer Qualitätsverschlechterung.

Es gibt keine Gewissheit dafür, ob mit einer Veränderung des Maschineneinstellwertes eine entscheidende Verbesserung des Prozesses erreicht werden kann. Dennoch muss es möglich sein, mit Standardeinstellungen an der Maschine zurechtzukommen. Der erfahrene Einrichter geht meist entsprechend vor: Er testet eine Einstellung, die er für aussichtsreich hält, und versucht dann, durch Verändern der Prozessparameter diese Einstellung zu optimieren. In diesem Buch wird dieses Vorgehen nachempfunden.

Damit das Buch auch eine Hilfe für den Maschineneinrichter ist, wurde auf vieles verzichtet, was gewöhnlich in Abhandlungen zum Spritzgießen vorkommt, vor allem ist die gesamte Thematik der Rheologie stark gekürzt. Ich habe noch keinen Einrichter gesehen, der sich ernsthaft mit der Viskositätsfunktion auseinandergesetzt hat.

Die Thematik der Werkzeugtechnik ist in diesem Buch ebenfalls sehr kurz behandelt. Hier verweise ich den Leser auf das Buch **Spritzgussteile konstruieren für Prakti-**

**ker** ebenfalls im Hanser Verlag. Natürlich könnte man alles Wissen in einem Buch zusammenstellen, dann würde dieses Buch aber dick und wenig übersichtlich. Daher habe ich mich entschieden, je nach Fragestellung unterschiedliche Bücher zu verfassen.

In der aktuellen Auflage habe ich zwei wesentliche Erweiterungen hinzugenommen.

- In Kapitel 6 wird die Qualität von Spritzgussteilen behandelt, wobei ganz konkret dargestellt wird, wie die Qualität gemessen werden kann.
- Das Kapitel 7 behandelt das Thema Nachhaltigkeit, wobei weitgehend solche Dinge behandelt sind, die der Anwender in der Praxis direkt umsetzen kann.

C. Jaroschek

# Inhalt

|  |            |
|--|------------|
| <b>Der Autor</b> .....                                 | <b>V</b>   |
| <b>Vorwort</b> .....                                   | <b>VII</b> |
| <b>1 Der Spritzgießprozess</b> .....                   | <b>1</b>   |
| 1.1 Verfahrensablauf .....                             | 1          |
| 1.2 Die Maschinen- und Anlagentechnik .....            | 3          |
| 1.2.1 Schließeinheit .....                             | 4          |
| 1.2.2 Einspritzeinheit .....                           | 6          |
| 1.2.3 Antrieb .....                                    | 6          |
| 1.2.4 Steuerung .....                                  | 7          |
| <b>2 Fachsprache</b> .....                             | <b>9</b>   |
| 2.1 Spritzgießmaschine .....                           | 9          |
| 2.2 Werkzeug .....                                     | 15         |
| 2.3 Spritzgießprozess .....                            | 25         |
| 2.4 Werkstoff Kunststoff .....                         | 32         |
| <b>3 Die Einstellung der Verarbeitungsgrößen</b> ..... | <b>35</b>  |
| 3.1 Basisdaten für die Grundeinstellung .....          | 38         |
| 3.1.1 Schussgewicht .....                              | 38         |
| 3.1.2 Fließweglänge .....                              | 38         |
| 3.1.3 Mittlere Wanddicke .....                         | 39         |
| 3.1.4 Zu verarbeitender Kunststoff .....               | 40         |
| 3.1.5 Formteilklassse .....                            | 40         |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 3.1.6    | Projizierte Formteilfläche .....   | 41        |
| 3.2      | Grundeinstellung .....   | 41        |
| 3.2.1    | Temperaturen.....  | 42        |
| 3.2.1.1  | Schmelztemperatur, Verarbeitungstemperatur .....                                   | 42        |
| 3.2.1.2  | Werkzeugtemperatur .....   | 44        |
| 3.2.1.3  | Düsentemperatur/Heißkanaltemperatur .....  | 44        |
| 3.2.2    | Dosieren.....  | 45        |
| 3.2.3    | Einspritzen und Nachdrücken .....  | 50        |
| 3.2.3.1  | Einspritzvorgang .....   | 50        |
| 3.2.3.2  | Umschalten auf Nachdruck.....  | 52        |
| 3.2.3.3  | Nachdruckvorgang.....  | 54        |
| 3.2.4    | Kühlzeit .....   | 56        |
| 3.3      | Korrektur der Grundeinstellung.....  | 57        |
| 3.3.1    | Erster Korrekturschritt (ohne Nachdruck) .....                                     | 57        |
| 3.3.2    | Zweiter Korrekturschritt (mit Nachdruck) .....                                     | 58        |
| 3.4      | Optimierung der Grundeinstellung .....   | 59        |
| 3.4.1    | Unvollständige Werkzeugfüllung .....   | 60        |
| 3.4.2    | Einfallstellen.....  | 61        |
| 3.4.3    | Gratbildung .....  | 62        |
| 3.4.4    | Sichtbare Bindenähte .....   | 63        |
| 3.4.5    | Freistrahlbildung.....   | 63        |
| 3.4.6    | Rillenbildung (Schallplatteneffekt) .....  | 65        |
| 3.4.7    | Schlieren auf der Oberfläche .....   | 65        |
| 3.4.8    | Brandstellen (Diseleffekt) .....   | 67        |
| 3.4.9    | Matte Stellen in Anschnittnähe .....   | 67        |
| 3.4.10   | Glanzunterschiede auf der Oberfläche .....   | 67        |
| <b>4</b> | <b>Spritzgießrelevante Kunststoff-Eigenschaften .....</b>                          | <b>69</b> |
| 4.1      | Fließeigenschaften von Kunststoffen.....   | 69        |
| 4.1.1    | Zusammenhang von Druck und Geschwindigkeit (Hagen-Poiseuille) ..                   | 69        |
| 4.1.2    | Viskosität .....   | 70        |
| 4.1.2.1  | Einfluss der Schergeschwindigkeit auf die Viskosität.....                          | 72        |
| 4.1.2.2  | Einfluss der Temperatur auf die Viskosität .....                                   | 73        |
| 4.1.3    | Kombinierter Einfluss von Geschwindigkeit und Temperatur<br>(Badewannenkurve)..... | 73        |
| 4.1.4    | Quellfluss.....  | 74        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.1.5    | Fehlersuche mit Quellflussanalyse .....  | 76         |
| 4.2      | Prozessablauf beim Einspritzen und Nachdrücken .....   | 77         |
| 4.2.1    | Zusammenhang zwischen spezifischem Druck, Volumen und<br>Temperatur ( $pVT$ -Diagramm) ..... | 77         |
| 4.2.2    | Druck-Zeit-Verlauf, Druckkurven .....  | 80         |
| 4.2.3    | Einspritzgeschwindigkeit .....   | 85         |
| 4.2.4    | Nachdruckphase .....   | 87         |
| 4.2.4.1  | Nachdruckzeit .....  | 87         |
| 4.2.4.2  | Nachdruckhöhe .....  | 88         |
| 4.3      | Formteilgestaltung .....   | 91         |
| 4.3.1    | Fließweg-Wanddicken-Verhältnis .....   | 91         |
| 4.3.2    | Füllbild .....   | 91         |
| 4.3.2.1  | Bindenähte und Fließnähte .....  | 93         |
| 4.3.2.2  | Faltenwurf .....   | 95         |
| 4.3.2.3  | Brenner/Diseleffekt .....  | 95         |
| 4.3.2.4  | Schlecht füllende Bereiche .....   | 96         |
| 4.4      | Innere Eigenschaften von Kunststoffen .....  | 97         |
| 4.4.1    | Orientierungen .....   | 97         |
| 4.4.2    | Spannungen .....   | 99         |
| 4.4.3    | Kristallisation .....  | 100        |
| 4.5      | Temperaturen und Wärmevergänge in Kunststoffen .....   | 102        |
| 4.5.1    | Abkühlung (Berechnung) .....   | 103        |
| 4.5.2    | Abkühleigenschaften, Bindenahtfestigkeit .....   | 107        |
| 4.5.3    | Einfluss der Werkzeugtemperatur auf die Formteildimension .....                              | 109        |
| 4.5.4    | Temperaturgleichgewicht .....  | 111        |
| 4.5.5    | Schmelzetemperatur, Verarbeitungstemperatur .....  | 112        |
| 4.5.6    | Einfluss der Temperatur auf die Entformung und allgemeine<br>Entformungsprobleme .....       | 114        |
| 4.5.7    | Verweilzeit und Materialabbau .....  | 115        |
| <b>5</b> | <b>Spritzgieß-Sonderverfahren .....</b>  | <b>117</b> |
| 5.1      | Spritzgießen mit Treibmitteln .....  | 117        |
| 5.1.1    | TSG-Verfahrenstechnik (Thermoplast-Schaum-<br>Spritzgießen) .....                            | 119        |
| 5.1.2    | Gasgegendruck-Verfahren .....  | 122        |
| 5.1.3    | Anlagentechnik für Treibmittel Spritzguss .....  | 123        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 5.2      | Gasinnendrucktechnik (GIT) .....                           | 125        |
| 5.2.1    | Druckverlauf bei der Gasinnendrucktechnik .....            | 126        |
| 5.2.2    | Standard-GIT-Verfahren .....                               | 128        |
| 5.2.2.1  | Gestaltung von GIT-Teilen .....                            | 129        |
| 5.2.2.2  | Verfahrenstechnik beim Standard-GIT-Verfahren .....        | 131        |
| 5.2.3    | Ausblasverfahren .....                                     | 134        |
| 5.2.3.1  | Nebenkavitätenverfahren .....                              | 135        |
| 5.2.3.2  | Masserückdruckverfahren .....                              | 136        |
| 5.2.4    | Fehlerbeseitigung beim GIT-Prozess .....                   | 138        |
| 5.3      | Gas-Außendrucktechnik .....                                | 141        |
| 5.4      | Spritzprägen .....   | 143        |
| 5.4.1    | Allgemeines zum Verfahren .....                            | 143        |
| 5.4.2    | Großflächiges Spritzprägen .....                           | 144        |
| 5.4.3    | Partielles Prägen .....                                    | 145        |
| 5.4.4    | Passives Prägen .....                                      | 146        |
| 5.4.5    | Prozessführung beim großflächigen Spritzprägen .....       | 148        |
| 5.4.6    | Prozessführung beim Prägen mit Verdrängerkernen .....      | 149        |
| 5.4.7    | Prozessführung beim passiven Prägen .....                  | 150        |
| 5.5      | Mehrkomponentenspritzgießen .....                          | 150        |
| 5.5.1    | Overmolding-Verfahren .....                                | 151        |
| 5.5.1.1  | Allgemeines .....  | 151        |
| 5.5.1.2  | Materialauswahl für das Mehrkomponenten-Spritzgießen ..... | 154        |
| 5.5.1.3  | Spezielle verfahrenstechnische Kenntnisse .....            | 156        |
| 5.5.2    | Sandwichmolding-Verfahren .....                            | 157        |
| 5.5.2.1  | Allgemeines .....  | 157        |
| 5.5.2.2  | Einspritzfolge beim Sandwichverfahren .....                | 158        |
| 5.5.2.3  | Spezielle produktbezogene Kenntnisse .....                 | 161        |
| 5.5.2.4  | Verfahrenstechnik .....                                    | 164        |
| 5.5.2.5  | Standard-Sandwichtechnik .....                             | 164        |
| 5.5.2.6  | Monosandwich-Verfahren .....                               | 168        |
| 5.5.2.7  | Allgemeine Fehlerbehebung .....                            | 169        |
| 5.6      | Plastifizieren mit Entgasung .....                         | 169        |
| <b>6</b> | <b>Optimierung der Qualität .....</b>                      | <b>171</b> |
| 6.1      | Dokumentation und Überwachung .....                        | 175        |
| 6.1.1    | Kontinuierliche, chronologische Überwachung .....          | 175        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 6.1.1.1  | Die Bedeutung einzelner Ist-Prozessparameter .....   | 176        |
| 6.1.1.2  | Mögliche Fehlerfrequenz .....  | 182        |
| 6.1.2    | Statistische Prozessregelung (SPC) .....   | 186        |
| 6.1.2.1  | Dokumentation mit statistischen Kennwerten .....   | 186        |
| 6.1.2.2  | Regelkarten .....  | 189        |
| 6.1.2.3  | Strategie einer Regelung der Qualität .....  | 190        |
| 6.1.2.4  | Auswahl der Parameter .....  | 192        |
| 6.1.3    | Überwachung mit Prozessmodellen .....  | 192        |
| 6.2      | Optimierung mit externer Intelligenz .....   | 193        |
| 6.2.1    | Statistische Versuchsplanung (SVP) .....   | 194        |
| 6.2.2    | Evolutionsoptimierung (EVOP) .....   | 200        |
| 6.2.3    | Vergleich zwischen EVOP und SVP .....  | 205        |
| 6.3      | Spezielle Prozessstrategien .....  | 206        |
| 6.3.1    | <i>pvT</i> -Strategie .....  | 206        |
| 6.3.2    | Adaptive Prozessregelung .....   | 208        |
| 6.3.2.1  | Korrelationsanalyse .....  | 209        |
| 6.3.2.2  | Adaptive Maschinenregelung .....   | 210        |
| 6.3.2.3  | Fließzahlregelung .....  | 212        |
| 6.3.2.4  | APC und IQ-Weight-Control .....  | 214        |
| <b>7</b> | <b>Nachhaltigkeit beim Spritzgießen .....</b>  | <b>217</b> |
| 7.1      | Einsatz von Rezyklaten .....   | 219        |
| 7.2      | Reduktion des Energiebedarfs .....   | 223        |
| 7.2.1    | Einsparung von Antriebsenergie .....   | 223        |
| 7.3      | Einsparung von Heizleistung .....  | 227        |
| 7.4      | Einsatz von Treibmitteln .....   | 229        |
| <b>8</b> | <b>Vorgehensweise für eine standardisierte Voreinstellung<br/>einer Spritzgießmaschine .....</b> | <b>231</b> |
| 8.1      | Basis-Formteildaten .....  | 231        |
| 8.2      | Einstellwerte .....  | 232        |
| 8.3      | Tabellen und Diagramme .....   | 234        |
|          | <b>Weiterführende Literatur .....</b>  | <b>243</b> |
|          | <b>Index .....</b>   | <b>245</b> |



# 1

## Der Spritzgießprozess

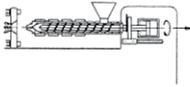
### 1.1 Verfahrensablauf

Spritzgießen ist ein Herstellverfahren für Kunststoffartikel, bei dem Kunststoffgranulat aufgeschmolzen (*Schritt 1: Plastifizieren*) und dann in den Hohlraum (Formnest, Kavität) eines Werkzeugs eingespritzt wird (*Schritt 4: Einspritzen*). Die Kunststoffschmelze verfestigt sich in der Kavität bei den meisten Kunststoffen durch Erstarren (*Schritt 5: Abkühlen*), so dass das gespritzte Teil der Form entnommen werden kann (*Schritt 6: Entformen*).

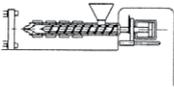
Der in Bild 1.1 gezeigte Ablauf stellt einen sich wiederholenden Zyklus dar. Im ersten Schritt wird über den Einfülltrichter das Kunststoffgranulat der Schnecke zugeführt. Durch die Drehbewegung der Schnecke wird das Material nach vorne gefördert. Die entstehende Reibungswärme und die elektrische Heizung des Schneckenzyllinders führen zum Schmelzen des Granulats (Plastifizieren). Solange die Düse an der werkzeugnahen Seite des Schneckenzyllinders geschlossen ist, sammelt sich die Schmelze vor der Schneckenspitze (Schneckenorraum) und schiebt die Schnecke zurück. Der Aufschmelzvorgang wird mit einer höheren Reibung verbessert, hierfür wird ein hydraulischer Gegendruck (Staudruck) im Antriebszylinder (Einspritzzylinder) aufgebaut, der die Rückwärtsbewegung der Schnecke verlangsamt und somit für eine längere Dosierzeit verantwortlich ist. Das für den Spritzgießprozess notwendige Schmelzevolumen wird während des Plastifizierens im Schneckenorraum dosiert. Mithilfe eines Wegmesssystems wird über den Rücklauf der Schnecke das Dosiervolumen bestimmt.

Spritzgießen ist ein zyklischer Prozess

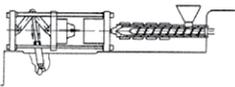
1: Beginn der Plastifizierung



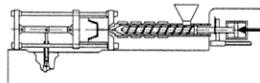
2: Ende der Plastifizierung



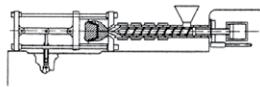
3: Schließen des Werkzeugs



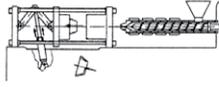
4: Einspritzen



5: Nachdrücken und kühlen



6: Entformung des Spritzlings



**Bild 1.1** Prinzipieller  
Verfahrensablauf beim  
Spritzgießen (Bildquelle:  
Pötsch G., Michaeli W.,  
„Injection Molding“, S. 2,  
Bild 2.34, Hanser Verlag, 1995)

### Einspritzen, Formteilbildung

Bevor ein Formteil gespritzt werden kann, wird das Werkzeug mit hoher Kraft (Schließkraft) geschlossen und das Spritzaggregat mit der Düse zur Angussbüchse des Werkzeugs gefahren. Die Schmelze wird mit einer vorgegebenen Einspritzgeschwindigkeit der Schnecke in den Werkzeughohlraum gespritzt. Dabei steigt der Druck (Einspritzdruck) stetig an. Bei den meisten Spritzgießmaschinen wird heute die Einspritzgeschwindigkeit geregelt. Ein vom Maschinenbediener eingestellter Spritzdruck ist nur ein Begrenzungsdruck, der vom Antriebssystem der Maschine nicht überschritten werden soll.

### Nachdrücken zum Schwindungsausgleich

Der Einspritzvorgang ist beendet, wenn die Kavität fast vollständig mit Schmelze gefüllt ist. Ab jetzt muss noch weitere Schmelze nachgedrückt werden (Nachdruck), um die Materialschwindung des Formteils während des Abkühlens auszugleichen. Der Nachdruck ist deutlich geringer als der Einspritzdruck, damit die in der Kavität wirkende Kraft die Schließkraft der Maschine nicht übersteigt. Andernfalls kommt es zum Überspritzen. Die Umschaltung von Einspritzen auf Nachdrücken erfolgt meist mit Erreichen eines vorgegebenen Wegpunkts der Schnecke während ihrer Vorwärtsbewegung (Umschaltpunkt). Wenn das Formteil erkaltet und ausreichend stabil ist, kann das Werkzeug geöffnet und das Formteil mittels im Werkzeug integrierter Ausstoßer entformt werden.

### Einstellwerte, spezifisch und maschinenbezogen

Die Maschineneinstellwerte (Geschwindigkeiten, Wege und Drücke) können spezifisch oder maschinenbezogen sein. Beide Angaben lassen sich mit dem Schneckendurchmesser  $D$  ineinander umrechnen (Tabelle 1.1). Spezifische Angaben sind unabhängig vom Schneckendurchmesser und ermöglichen eine einfache Übertragung einer Maschineneinstellung auf eine andere Maschine. Im Folgenden werden immer spezifische Angaben zugrunde gelegt. Üblich ist heute noch oft die zusätzliche Angabe maschinenbezogener Werte. Viele Maschinensteuerungen bieten bereits eine Umrechnung und wahlweise Darstellung dieser Angaben.

**Tabelle 1.1** Umrechnung von spezifischen in maschinenbezogene Einstellwerte beim Spritzgießen

| Verfahrensablauf           | Einstellwerte                             |   | Umrechnung  |
|----------------------------|---|---|---|
|                            | spezifisch                                | maschinenbezogen  |   |
| Dosieren                   | Umfangsgeschwindigkeit: $v$               | Drehzahl: $n$   | $u = \pi n D_{\text{Schnecke}}$   |
| Einspritzen<br>Nachdrücken | Druck in der Schnecke: $p_{\text{spez.}}$ | Hydraulikdruck der Maschine: $p_{\text{hydr.}}$               | $p_{\text{hydr.}} = \left( \frac{D_{\text{Schnecke}}}{D_{\text{hydr. Kolben}}} \right)^2$ |
|                            | Volumen des Schneckenvorrums: $V$         | Hub der Schnecke: $s$   | $V = s \frac{\pi}{4} D_{\text{Schnecke}}^2$   |
|                            | Volumen pro Zeiteinheit: $\dot{V}$        | Vorlaufgeschwindigkeit der Schnecke:<br>$v_{\text{Schnecke}}$ | $\dot{V} = v_{\text{Schnecke}} \frac{\pi}{4} D_{\text{Schnecke}}^2$                       |

$D_{\text{Schnecke}}$ : Schneckendurchmesser

$D_{\text{hydr.}}$ : Durchmesser des Hydraulikkolbens der Einspritzseite

Für eine gleichbleibend gute Qualität der Spritzgussprodukte müssen die Zyklen des Spritzgießprozesses (Bild 1.1) möglichst gleich sein. Das gelingt nur bei einem kontinuierlichen und störungsfreien Betrieb, weil in jedem Zyklus große Temperaturwechsel auftreten. Das Werkzeug wird bei thermoplastischen Kunststoffen (diese werden bei höheren Temperaturen weich/viskos) auf eine Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur erwärmt. Mit der Schmelze wird dem Werkzeug zusätzliche Wärme zugeführt, womit eine Schwingung um die eingestellte Werkzeugtemperatur beginnt. Mit jeder Unterbrechung der Produktion wird sich zwangsläufig eine andere, nicht gleiche Ausgangssituation für den nächsten Zyklus ergeben.

Voraussetzung für gleichbleibende Qualität sind möglichst gleiche Zyklen

## 1.2 Die Maschinen- und Anlagentechnik

Die für den Prozess notwendige Maschinenteknik beinhaltet neben der Maschine das Werkzeug und die Peripherie. Im folgenden kurzen Überblick wird jeweils die Bedeutung für einen gleichförmigen Prozess betrachtet. In Kapitel 2 „Fachsprache“ werden ausgewählte Details genauer erläutert.

Die Maschine selbst setzt sich aus vier wesentlichen Baugruppen zusammen:

- Schließeinheit
- Einspritzeinheit
- Antrieb
- Steuerung

## 1.2.1 Schließseinheit

### Aufgabe und Größenbezeichnung

Die Aufgabe der Schließseinheit ist, das Werkzeug zu öffnen und zu schließen. Es erfordert eine sehr hohe Kraft, das Werkzeug geschlossen zu halten. Die mit sehr hohem Druck eingespritzte Schmelze darf das Werkzeug nicht aufdrücken und darf nicht in den Bereich der Trennebene eindringen. Die Schließkraft ist so bedeutend, dass diese für die Größenbezeichnung der Spritzgießmaschinen verwendet wird.

### Schutz vor Werkzeugschäden

Eine weitere wichtige Aufgabe ist der Schutz des Werkzeugs. Hierzu zählen die möglichst parallele Führung und eine exakte Zentrierung der geöffneten Werkzeughälften während der Schließbewegung. Ist die Führung nicht ausreichend parallel, führt dies zu einem Verschleiß der Trennebenen, da die sich schließenden Werkzeughälften sich zunächst nur an wenigen Stellen berühren. Durch den Kraftaufbau werden diese Bereiche besonders belastet und es kommt weiterhin zu einer sehr geringfügigen Relativbewegung der beiden Werkzeughälften, bis die Trennebene vollflächig geschlossen ist. Dabei entsteht Verschleiß, der eine Gratbildung nach sich ziehen kann. Das ist ein Spritzteilfehler, der nur noch durch eine Nacharbeit des Werkzeugs korrigiert werden kann.

Drei typische Bauarten für Schließseinheiten unterscheiden sich zunächst über die Antriebstechnik und die Baulänge.

### Hydraulische Systeme

#### Mehrere Hydraulikzylinder sind für die Funktion notwendig

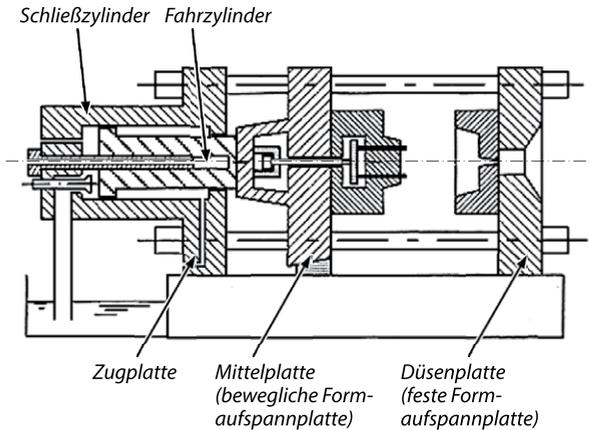
Die hydraulischen Systeme werden über Zylinder-Kolben-Systeme bewegt. Für die höheren Bewegungsgeschwindigkeiten beim Fahren kommen kleine Kolben zum Einsatz, die Schließkraft wird mit einem größeren Kolben aufgebaut (Bild 1.2). Durch dieses zweiteilige System wird der Werkzeugschutz gut erreicht. Wenn ein Spritzgussbauteil nicht vollständig entformt wurde und beim nächsten Schließvorgang noch teilweise in der Form ist, kann die Maschine mit der geringen Kraft der kleinen Fahrzylinder die Form nicht vollständig schließen und diesen Fehler gut erkennen. Bevor unter Schließkraft das Bauteil in der Trennebene zerquetscht wird und einen größeren Schaden anrichtet, geht die Maschine auf Störung.

### Mechanische Systeme

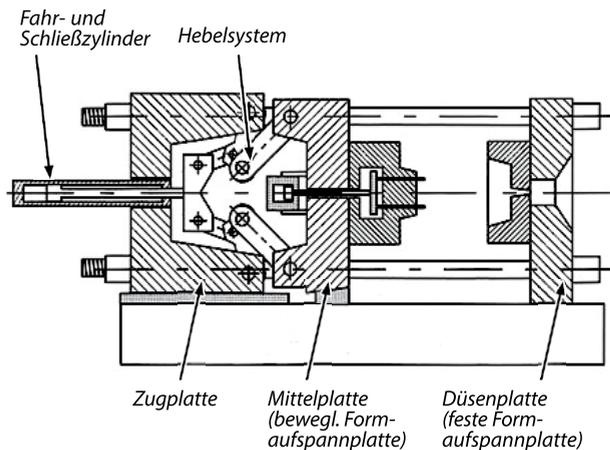
#### Bewegung und Kraftaufbau mittels einer Bewegung

Die mechanischen Systeme werden über ein Kniehebelsystem bewegt. Diese Systeme haben je nach Stellung des Hebels eine hohe mögliche Bewegungsgeschwindigkeit oder eine große Schließkraft. Ein einziger Hydraulikzy-

linder ermöglicht sowohl die Fahrbewegung als auch den Kraftaufbau (Bild 1.3). Dadurch sind diese Systeme schneller. Der Schutz des Werkzeugs wird mit einem höheren Aufwand an Kraftsensoren erreicht. Die Kniehebelsysteme sind grundsätzlich aufwendiger im Aufbau und eher bei kleinen Schließkräften zu finden. Mit der Entwicklung der elektromotorischen Antriebe wurde ein mechanisches System zwingend notwendig.



**Bild 1.2** Aufbau einer vollhydraulischen Schließeinheit



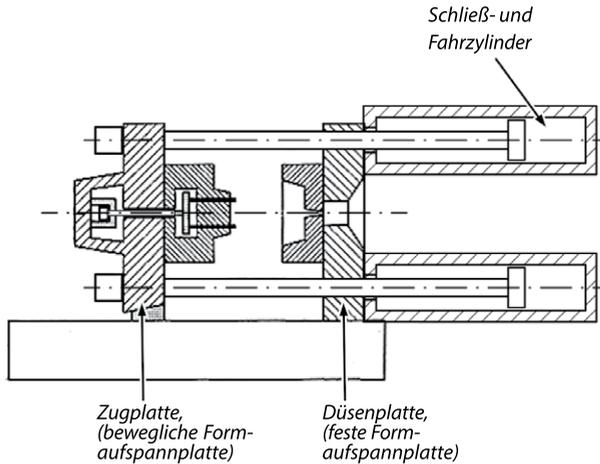
**Bild 1.3** Aufbau eines mechanischen Schließsystems

### Baulänge der Schließeinheit

Die Baulänge der Schließeinheit lässt sich mit der sogenannten Zweiplattenbauweise klein halten. Die hydraulischen und mechanischen Systeme haben einen festen Rahmen aus Düsenplatte, hinterer Zugplatte und den Säulen/Holmen. Die Bewegungs- und Krafteinheit ist dazwischen angeordnet. Die Zweiplattenmaschinen haben keinen starren Rahmen, das Fahr- und Kraftpaket zieht

Geringe Baulängen durch Zweiplattenbauweise

an den Säulen die Formaufspannplatten zusammen (Bild 1.4). Oft sind die Platten vollständig entkoppelbar, indem die Säulen an einer Platte entriegelt werden können und mit der beweglichen Hälfte mitfahren. Der Kraftaufbau kann nach dem Wiederverriegeln über die bewegliche oder feststehende Hälfte erfolgen. Diese Systeme sind besonders bei großen Schließkräften im Einsatz, denn hier ist eine Verkürzung der Baulänge besonders wichtig. Zu beachten ist, dass der Aufwand für eine exakte Parallelführung bei einem vollständig teilbaren System groß ist.



**Bild 1.4** Aufbau eines Zweiplattensystems

## 1.2.2 Einspritzeinheit

Wärme für das Aufschmelzen von Kunststoff

Die Aufgabe der Einspritzeinheit ist das Aufschmelzen und Dosieren des Kunststoffes sowie das Einspritzen in das Werkzeug. Die Wärme für das Aufschmelzen wird zu ca. 30 % über elektrische Heizbänder und zu ca. 70 % über die Drehbewegung der Schnecke erzeugt. Durch die Drehbewegung wird der Kunststoff vom Trichter in Richtung Düse gefördert. Der sich hier sammelnde geschmolzene Kunststoff drückt die Schnecke zurück. Über den Rücklaufweg der Schnecke kann das für den nächsten Zyklus notwendige Schmelzevolumen dosiert werden.

## 1.2.3 Antrieb

Die Spritzgießmaschine hat mindestens fünf Bewegungsachsen, deren Antrieb entweder hydraulisch oder elektromotorisch erfolgt.

- Einspritzen
- Dosieren

- Werkzeugbewegung
- Auswerferbewegung
- Spritzaggregatbewegung

Bis auf den Dosiervorgang sind alle Bewegungen linear und können einfach über Hydraulikzylinder erfolgen. Der hydraulische Antrieb hat den Vorteil, dass Hydrauliköl unter Druck an verschiedene Bewegungsachsen geleitet werden kann. Aufwendig wird es erst, wenn mehrere Achsen gleichzeitig bewegt werden sollen. In diesem Fall eines Parallelantriebs müssen die Drücke und Volumenströme jeweils unabhängig voneinander sein.

Parallele Antriebe ermöglichen zeitgleiche Bewegungen

### Elektrische Systeme

Elektromotoren werden seit ca. 1995 eingesetzt, ihr Vorteil ist der höhere Wirkungsgrad, weshalb elektrisch angetriebene Maschinen einen geringeren Energiebedarf haben. Ein weiterer Vorteil ist, dass jede Bewegungsachse einen eigenen Antriebsmotor braucht und somit parallele Antriebe systembedingt möglich sind. Der Nachteil dieser Antriebe ist zwangsläufig der höhere Preis.

Ein hoher Wirkungsgrad sorgt für geringen Energiebedarf

Ein weiterer Nachteil der elektrischen Antriebe ist, dass die Motoren bei hoher gewünschter Leistung besonders groß und teuer werden. Aus diesem Grund sind viele moderne Maschinen nur teilweise mit elektrischen Antrieben ausgerüstet, in dem Fall spricht man auch von hybriden Antrieben.

Hybride Antriebe

Mit Blick auf den Prozess scheinen die elektromotorischen Antriebe etwas höhere Wiederholgenauigkeiten zu haben. Grundsätzlich gibt es aber keinen zwingenden Grund, eines der Systeme zu bevorzugen.

## 1.2.4 Steuerung

Die Steuerung ist zweigeteilt: Der Bediener hat im Wesentlichen mit dem Eingabeterminal zu tun. Über einen Bildschirm können die Prozesseinstellungen vorgenommen und die aktuellen Produktions-Ist-Werte eingesehen werden. Für den Bediener ist der zweite Teil der Maschinensteuerung unsichtbar, dieser Teil verarbeitet alle Sensor-Signale und regelt alle Bewegungen. Der Bediener sollte wissen, dass eine Zeitverzögerung am Anzeigebildschirm nicht ein Anzeichen für eine langsame Steuerung ist. Die Geschwindigkeit für die Reaktion auf z. B. ein Notaus-Signal ist für den Bediener nicht erfassbar.

Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine

Die üblichen Spritzgießmaschinen unterscheiden sich für den Bediener weitgehend in der Bedienoberfläche. Grundsätzlich gibt es keinen zwingenden Grund, irgendeine Maschine wegen der Steuerung zu bevorzugen.

# 2

## Fachsprache

Spritzgießer haben ihre eigene Sprache. Oft sind aber die Ausdrucksweisen, insbesondere im Betriebsjargon, nicht einheitlich, weshalb im folgenden Text möglichst die „richtigen“ Begriffe benutzt werden. An dieser Stelle wird nicht die 19-seitige DIN 24 450:1987-02 wiedergegeben, sondern es werden die wesentlichen Fachbegriffe auch anhand einiger Skizzen zur Erklärung und zum Einstieg aufgelistet. Abweichungen von der DIN sind gekennzeichnet.

### 2.1 Spritzgießmaschine

**AUSWERFER** Der Auswerfer ist ein axial beweglicher Bolzen, der durch die Mitte der beweglichen **Werkzeugaufspannplatte** bewegt wird. Er betätigt das im Werkzeug integrierte Auswerfersystem, sodass die Spritzgussteile nach dem Öffnen des Werkzeugs entformt werden können. An Maschinen mit kleiner Schließkraft wird meist ein einziger Zentralauswerfer vorgesehen, an größeren Maschinen wird die Auswerferbewegung mit einer Auswerfertraverse durchgeführt, um ein Verkanten zu vermeiden. Eine Auswerfertraverse ist eine zusätzliche Platte hinter der beweglichen **Werkzeugaufspannplatte**, über die mehrere Auswerferbolzen gleichzeitig betätigt werden können (Bild 2.1).

**AUSWERFERKUPPLUNG** Die Auswerferkupplung ermöglicht eine exakte Überwachung der Rückwärtsbewegung. In vielen Fällen erfolgt die Rückbewegung des Werkzeug-Auswerfers:

- mit einer Rückhol-Spiralfeder oder
- mit durch die Trennebene in Richtung Düsenseite ragenden **Rückdrückstiften**.

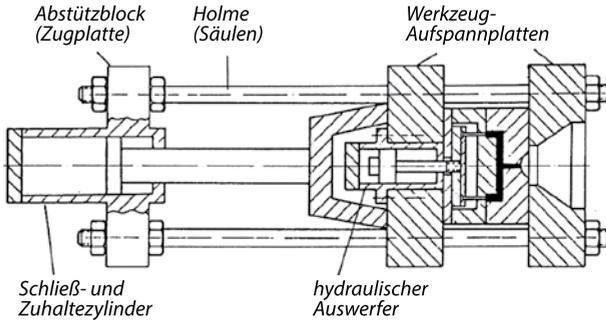


Bild 2.1 Auswerfer

Die Kopplung des Werkzeug-Auswerfersystems mit dem Maschinen-Auswerfer erfolgt mittels:

- Verschraubung,
- einer federbetätigten oder
- pneumatisch betätigten Kupplung.

**BEDIENOBERFLÄCHE** Eingabebildschirm der Spritzgießmaschine.

**DÜSE** Die Düse (Bild 2.2) ist das Ansatzstück des Plastifizierzylinders zum Werkzeug. Zur Anpassung ist ihr Radius geringfügig kleiner als der der Angussbuchse, die Schmelzauslassbohrung ist ebenfalls etwas kleiner, damit sich der in der Angussbuchse erkaltende Kunststoff gut entformen lässt. Für besondere Einsatzfälle kommen **Verschlussdüsen** zum Einsatz.

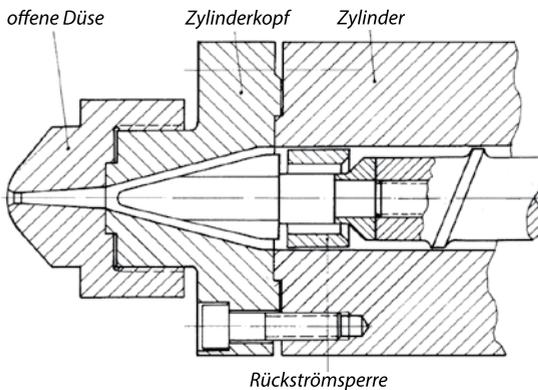


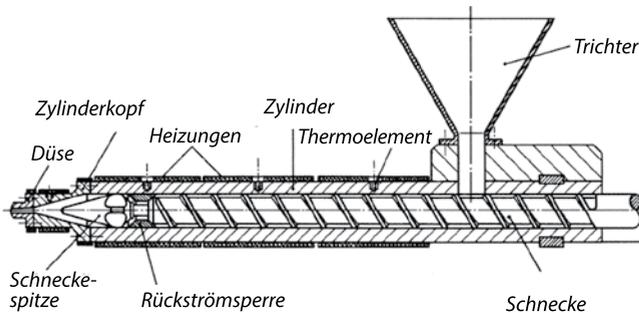
Bild 2.2 Düse, offen

**EINSPRITZZYLINDER** Hydraulikzylinder, hinter der Schnecke, der die Schnecken-vorwärtsbewegung ermöglicht.

**FORMAUFSPANNPLATTE** Siehe nach DIN 24450:1987-02 **Werkzeugaufspannplatte**.

**HOLM** Siehe Säule.

**PLASTIFIZIEREINHEIT** Die Plastifiziereinheit (Bild 2.3) besteht aus (Plastifizier-)Zylinder mit Heizbändern, innenliegender Schnecke mit Rückströmsperre und Düse. Der Trichter ist nicht zwingend Bestandteil dieser Einheit. In vielen Fällen werden ohnehin spezielle Trocknungstrichter eingesetzt oder das Material wird von einer zentralen Materialversorgung direkt auf die Einzugszone der Schnecke geleitet.



**Bild 2.3** Plastifiziereinheit

**RÜCKSTRÖMSPERRE** Mechanisches Verschlusselement auf der Schneckenspitze (Bild 2.4). Sie besteht aus der Schneckenspitze, dem axial verschiebbaren Sperring und dem Druckring. Die Rückströmsperre schließt beim Einspritzen, wenn der Sperring nicht bewegt wird und die Schnecke in ihrer Vorwärtsbewegung gegen den Sperring fährt. Beim Plastifizieren schiebt die von hinten nachströmende Schmelze den Sperring nach vorne, sodass er an den Flügeln der Spitze anliegt. Die Schmelze kann zwischen den Flügeln der Spitze hindurchströmen. Die Schussgewichtsgenauigkeit der Spritzgießmaschine wird wesentlich vom Schließverhalten der Rückströmsperre bestimmt, ohne die Wirkung des Nachdrucks ergibt sich eine Schwankung des Schussgewichts von ca. 2 % über mehrere Zyklen. Mit Nachdruck wird die Schussgewichtsschwankung auf ca. 0,2 % reduziert. Zur Verbesserung der Genauigkeit kann ggf. der Hub des Sperrings verändert werden, indem man die Anlagefläche für den Druckring an der Spitze abdreht. Die Rückströmsperre ist ein Verschleißteil und muss ggf. ausgetauscht werden, wenn die Schussgewichtsschwankung größer wird. Die Ursache liegt in der Relativbewegung zwischen der beim Plastifizieren drehenden Schneckenspitze und dem mit geringerer Drehzahl von der Schmelze mitgeschleppten Druckring, der beim Plastifizieren an der Spitze anliegt.

**SÄULEN, HOLME** Die Holme der Schließeinheit bilden mit den Maschinenplatten (Düsenseite, Auswerferseite) einen Kraftübertragungsrahmen für die Schließkraft. Im allgemeinen deutschen Sprachgebrauch ist der Begriff Holm üblich, korrekt nach DIN 24 450:1987-02 ist die Bezeichnung Säule. Man sollte aber bedenken, dass es im technischen Bereich keine eindeutige Definition des Begriffs Säule gibt.

**SCHNECKENVORRAUM** Das Volumen im Plastifizierzylinder zwischen der Düse und der Schneckenspitze.