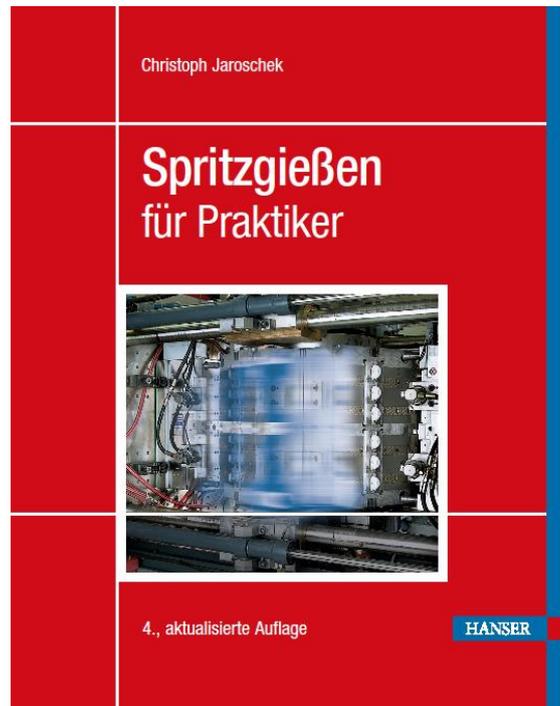


# HANSER



## Leseprobe

zu

## Spritzgießen für Praktiker

von Christoph Jaroschek

ISBN (Buch): 978-3-446-45553-5

ISBN (E-Book): 978-3-446-45867-3

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-fachbuch.de/buch/Spritzgiessen+fuer+Praktiker/9783446455535>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# 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 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 klar geworden, 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 letztlich 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 wirklich 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.

So bitte ich die „Wissenden“ um Nachsicht und hoffe einen Beitrag für die Sache geleistet zu haben.

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
1.2.1.1 Mechanische Systeme .....	5
1.2.1.2 Elektrische Systeme .....	5
1.2.1.3 Baulänge der Schließeinheit .....	5
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 .....	26
2.4 Werkstoff Kunststoff .....	35
<b>3 Die Einstellung der Verarbeitungsgrößen</b> .....	<b>39</b>
3.1 Basisdaten für die Grundeinstellung .....	41
3.1.1 Schussgewicht .....	42
3.1.2 Fließweglänge .....	42
3.1.3 Mittlere Wanddicke .....	43
3.1.4 Zu verarbeitender Kunststoff .....	43

3.1.5	Formteilklassse	43
3.1.6	Projizierte Formteilkfläche	44
3.2	Grundeinstellung	45
3.2.1	Temperaturen	45
3.2.1.1	Schmelzetemperatur	45
3.2.1.2	Werkzeugtemperatur	47
3.2.1.3	Düsentemperatur/Heißkanaltemperatur	47
3.2.2	Dosieren	48
3.2.3	Einspritzen und Nachdrücken	53
3.2.3.1	Einspritzvorgang	53
3.2.3.2	Umschalten auf Nachdruck	54
3.2.3.3	Nachdruckvorgang	56
3.2.4	Kühlzeit	57
3.3	Korrektur der Grundeinstellung	58
3.3.1	Erster Korrekturschritt (ohne Nachdruck)	58
3.3.2	Zweiter Korrekturschritt (mit Nachdruck)	59
3.4	Optimierung der Grundeinstellung	60
3.4.1	Unvollständige Werkzeugfüllung	61
3.4.2	Einfallstellen	61
3.4.3	Gratbildung	62
3.4.4	Sichtbare, schlechte 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)	66
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	Fließigenschaften 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	71
4.1.2.2	Einfluss der Temperatur auf die Viskosität	73
4.1.3	Kombinierter Einfluss von Geschwindigkeit und Temperatur (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 Temperatur ( $pVT$ -Diagramm) .....	77
4.2.2	Druck-Zeit-Verlauf, Druckkurven .....	79
4.2.3	Einspritzgeschwindigkeit .....	84
4.2.4	Nachdruckphase .....	86
4.2.4.1	Nachdruckzeit .....	86
4.2.4.2	Nachdruckhöhe .....	87
4.3	Formteilgestaltung .....	90
4.3.1	Fließweg-Wanddicken-Verhältnis .....	90
4.3.2	Füllbild .....	90
4.3.2.1	Bindenähte und Fließnähte .....	92
4.3.2.2	Faltenwurf .....	93
4.3.2.3	Brenner/Diseleffekt .....	94
4.3.2.4	Schlecht füllende Bereiche .....	95
4.4	Innere Eigenschaften von Kunststoffen .....	95
4.4.1	Orientierungen .....	96
4.4.2	Spannungen .....	97
4.4.3	Kristallisation .....	98
4.5	Temperaturen und Wärmevergänge in Kunststoffen .....	100
4.5.1	Abkühlung (Berechnung) .....	101
4.5.2	Abkühleigenschaften, Bindenahtfestigkeit .....	104
4.5.3	Einfluss der Werkzeugtemperatur auf die Formteildimension	106
4.5.4	Temperaturgleichgewicht .....	108
4.5.5	Schmelzetemperatur .....	110
4.5.6	Einfluss der Temperatur auf die Entformung und allgemeine Entformungsprobleme .....	111
4.5.7	Verweilzeit und Materialabbau .....	112
<b>5</b>	<b>Spritzgieß-Sonderverfahren .....</b>	<b>113</b>
5.1	Spritzgießen mit Treibmitteln .....	113
5.1.1	TSG-Verfahrenstechnik (Thermoplast-Schaum-Spritzgießen)	115
5.1.2	Gasegendruck-Verfahren .....	117
5.2	Gasinnendrucktechnik (GIT) .....	118
5.2.1	Druckverlauf bei der Gasinnendrucktechnik .....	119
5.2.2	Standard-GIT-Verfahren .....	121
5.2.2.1	Gestaltung von GIT-Teilen .....	123
5.2.2.2	Verfahrenstechnik beim Standard-GIT-Verfahren ....	125

5.2.3	Ausblasverfahren	127
5.2.3.1	Nebenkavitätenverfahren	129
5.2.3.2	Masserückdruckverfahren	130
5.2.4	Fehlerbeseitigung beim GIT-Prozess	131
5.3	Gas-Außendrucktechnik	134
5.4	Spritzprägen	136
5.4.1	Allgemeines zum Verfahren	136
5.4.2	Großflächiges Spritzprägen	137
5.4.3	Partielles Prägen	138
5.4.4	Passives Prägen	139
5.4.5	Prozessführung beim großflächigen Spritzprägen	140
5.4.6	Prozessführung beim Prägen mit Verdrängerkernen	141
5.4.7	Prozessführung beim passiven Prägen	141
5.5	Mehrkomponentenspritzgießen	142
5.5.1	Overmolding-Verfahren	142
5.5.1.1	Allgemeines	142
5.5.1.2	Spezielle verfahrenstechnische Kenntnisse	146
5.5.2	Sandwichmolding-Verfahren	147
5.5.2.1	Allgemeines	147
5.5.2.2	Einspritzfolge beim Sandwichverfahren	148
5.5.2.3	Spezielle produktbezogene Kenntnisse	152
5.5.2.4	Verfahrenstechnik	155
5.5.2.5	Standard-Sandwichtechnik	155
5.5.2.6	Monosandwich-Verfahren	158
5.5.2.7	Allgemeine Fehlerbehebung	159
5.6	Plastifizieren mit Entgasung	159
<b>6</b>	<b>Die letzten Schritte zur Qualität</b>	<b>161</b>
6.1	Dokumentation und Überwachung	162
6.1.1	Kontinuierliche, chronologische Überwachung	162
6.1.1.1	Die Bedeutung einzelner Prozessparameter	162
6.1.1.2	Mögliche Fehlerfrequenz	168
6.1.2	Statistical Process Control (SPC)	170
6.1.2.1	Dokumentation mit statistischen Kennwerten	171
6.1.2.2	Regelkarten	173
6.1.2.3	Strategie einer Regelung der Qualität	174
6.1.2.4	Auswahl der Parameter	176
6.1.3	Überwachung mit Prozessmodellen	176

6.2	Optimierung mit externer Intelligenz .....	177
6.2.1	Statistische Versuchsplanung (SVP) .....	177
6.2.2	Evolutionsoptimierung (EVOP) .....	183
6.2.3	Vergleich zwischen EVOP und SVP .....	186
6.3	Spezielle Prozessstrategien .....	186
6.3.1	<i>p</i> <i>v</i> <i>T</i> -Strategie .....	187
6.3.2	Adaptive Prozessregelung .....	188
6.3.2.1	Korrelationsanalyse .....	189
6.3.2.2	Adaptive Maschinenregelung .....	190
6.3.2.3	Fließzahlregelung .....	191
6.3.2.4	APC und IQ-Weight Control .....	193
<b>7</b>	<b>Vorgehensweise für eine standardisierte Voreinstellung einer Spritzgießmaschine .....</b>	<b>197</b>
7.1	Basis-Formteildaten .....	197
7.2	Einstellwerte .....	198
7.3	Tabellen und Diagramme .....	199
<b>8</b>	<b>Weiterführende Literatur .....</b>	<b>211</b>
	<b>Index .....</b>	<b>213</b>



# 1

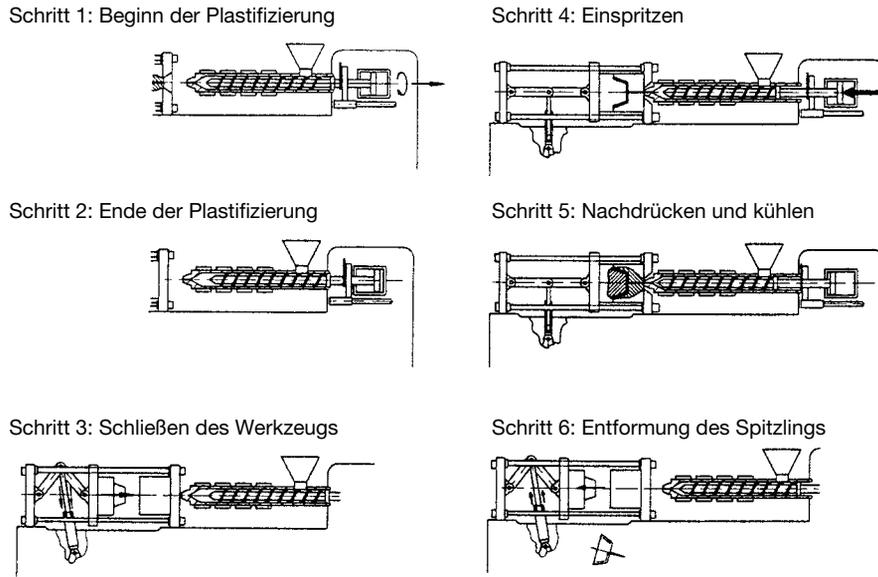
## Der Spritzgießprozess

### ■ 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 Schneckenzyinders führen zum Schmelzen des Granulats (Plastifizieren). Solange die Düse an der werkzeugnahen Seite des Schneckenzyinders 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. Mit Hilfe eines Wegmesssystems wird über den Rücklauf der Schnecke das Dosiervolumen bestimmt.

Spritzgießen ist ein zyklischer Prozess



**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 Schwundausgleich

Der Einspritzvorgang ist beendet, wenn die Kavität fast vollständig mit Schmelze gefüllt ist. Ab jetzt muss noch weitere Schmelze nachgedrückt werden (Nachdruck), um die Materialschwundung 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 zu Grunde gelegt. Üblich ist heute noch oft die zusätzliche Angabe maschinenbe-

zogener 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: $n$	$v = \pi n D_{\text{Schnecke}}$
Einspritzen Nachdrücken	Druck in der Schnecke: $p_{\text{spez.}}$	Hydraulikdruck der Maschine: $p_{\text{hydr.}}$	$p_{\text{hydr.}} = p_{\text{spez.}} \left( \frac{D_{\text{Schnecke}}}{D_{\text{hydr. Kolben}}} \right)^2$
	Volumen des Schneckenorraums: $V$	Hub der Schnecke: $s$	$V = s \frac{\pi}{4} D_{\text{Schnecke}}^2$
	Volumen pro Zeiteinheit: $\dot{V}$	Vorlaufgeschwindigkeit der Schnecke: $v_{\text{Schnecke}}$	$\dot{V} = v_{\text{Schnecke}} \frac{\pi}{4} D_{\text{Schnecke}}^2$

$D_{\text{Schnecke}}$ : 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

## Auswerfer- kupplung

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**.

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

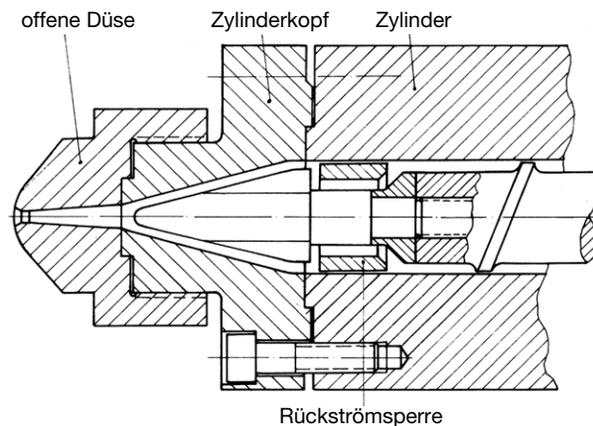
- Verschraubung,
- einer federbetätigten oder
- pneumatisch betätigten Kupplung.

## 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 Schmelzeauslassbohrung ist ebenfalls etwas kleiner, damit sich der in der Angussbuchse erhaltende Kunststoff gut entformen lässt. Für besondere Einsatzfälle kommen **Verschlussdüsen** zum Einsatz.



**Bild 2.2** Düse, offen

## Einspritzzylinder

Hydraulikzylinder, hinter der Schnecke, der die Schneckenvorwärtsbewegung ermöglicht.

## Formauf- spannplatte

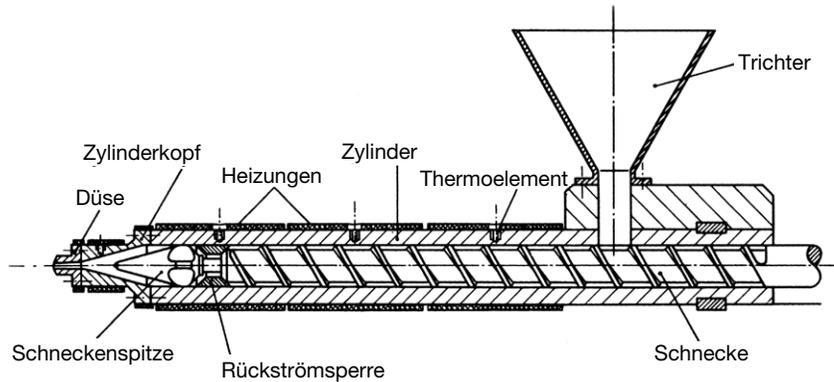
Siehe nach DIN 24450:1987-02 **Werkzeugaufspannplatte**.

## Holm

Siehe Säule.

## Plastifiziereinheit

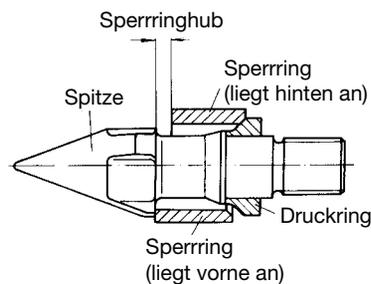
Die Plastifiziereinheit (Bild 2.3) besteht aus (Plastifizier-)Zylinder mit Heizbändern, innenliegender Schnecke mit Rückströmsperre und Düse. Der Trichter ist nicht zwingend Bestandteil dieser Einheit. In vielen Fällen werden ohnehin spezielle Trocknungstrichter eingesetzt oder das Material wird von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



**Bild 2.3** Plastifiziereinheit

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, so dass 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 abdrehet. 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.

### Rückströmsperre



**Bild 2.4** Rückströmsperre

### 3.2.3 Einspritzen und Nachdrücken

Der Einspritzvorgang ist bei Spritzgießmaschinen heute normalerweise geschwindigkeitsgeregelt. Dabei wird die Einspritzgeschwindigkeit auf den eingestellten Werten gehalten, indem der Spritzdruck vollautomatisch verstellt wird. In der Nachdruckphase wird im Gegensatz dazu der Druck geregelt, wobei sich eine Restgeschwindigkeit ergibt.

Regelung von Geschwindigkeit oder Druck

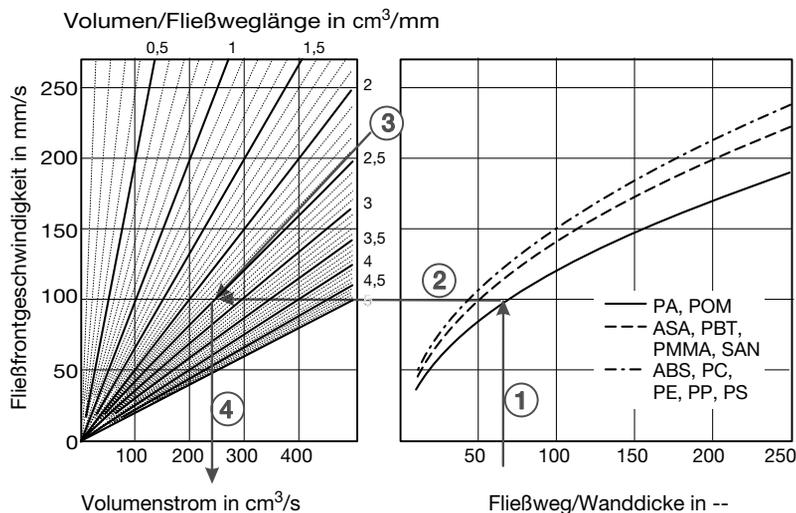
#### 3.2.3.1 Einspritzvorgang

Die Geschwindigkeit des Einspritzvorgangs wird durch die Vorlaufgeschwindigkeit der Schnecke bestimmt. Die Einstellung kann über die spezifische Größe Volumenstrom (Volumen pro Zeit) oder direkt über die Geschwindigkeit der Schnecke erfolgen. Der Einfluss der Geschwindigkeit auf die Qualität lässt sich bisher mathematisch nicht beschreiben, so dass den Empfehlungen für diesen Maschinenparameter ausschließlich Praxiseinstellungen zugrunde liegen. Die Festlegung der Einspritzgeschwindigkeit kann mittels Diagrammen (Bild 3.8) erfolgen. Dabei ergibt sich im rechten Bildteil aus dem Verhältnis aus Fließweg und Wanddicke (1) und dem Schnittpunkt mit der Kurve für den eingesetzten Kunststoff (2) die „Hilfsgröße Fließfrontgeschwindigkeit“. Der Schnittpunkt dieser Hilfsgröße mit dem Verhältnis aus Formteilmolumen und Fließweglänge (3) im linken Bildteil ergibt dann den notwendigen Volumenstrom (4).

Festlegung der Einspritzgeschwindigkeit

Für die oben genannten Formteilklassen liegt jeweils ein eigenes Diagramm vor, mit dessen Hilfe aus den Verhältnissen von Fließweg und Wanddicke ( $l_{\text{fließ}}/s_{\text{wand}}$ ) sowie Schussvolumen und Fließweglänge ( $V_{\text{Schuss}}/l_{\text{fließ}}$ ) die zugehörige Fließfrontgeschwindigkeit und damit der Volumenstrom abgelesen werden können. Die Diagramme sind so aufgebaut, dass ein schnelles Abschätzen möglich ist. Es kommt nicht auf einen exakten Wert an, sondern auf dessen Größenordnung, denn das spart Zeit und wirkt sich unwesentlich auf die Teilequalität aus.

Diagramme zum Abschätzen der Geschwindigkeit



**Bild 3.8** Diagramm zum Ermitteln des Einspritzvolumenstroms am Beispiel technischer Funktionsteile

Wichtig ist hier, dass man nicht nur das Verhältnis Gewicht/Volumen des einzelnen Teiles zu Grunde legt, sondern das des gesamten Schusses. Bei einem Zweifachwerkzeug muss die Vorlaufgeschwindigkeit der Schnecke z. B. doppelt so groß sein, wie bei einem Einfachwerkzeug, damit sich die jeweiligen Formnester mit der gleichen Geschwindigkeit füllen. Falls an der Maschine die Einspritzgeschwindigkeit in mm/s eingestellt werden muss, kann man diesen Wert mit den in Bild 3.7 gegebenen Daten (siehe auch vergrößerte Darstellungen im Anhang) für den jeweiligen Schneckendurchmesser umrechnen.

Eine konstante Geschwindigkeit reicht oft aus

In der Regel reicht für die Grundeinstellung eine einzige Geschwindigkeitsstufe aus. In der anschließenden Optimierungsphase werden sowohl die Geschwindigkeit selbst als auch die Anzahl der Einspritzstufen auf der Grundlage des ersten Bemusterungsergebnisses an den jeweiligen Anwendungsfall angepasst. Je nach Maschine wird eine Geschwindigkeit oder ein Volumenstrom eingestellt.

### Einspritzdruck

Einspritzdruck zur Absicherung der Produktion

Der Einspritzdruck wird bei geschwindigkeitsgeregelten Maschinen automatisch eingestellt. Eine Einstellung des Einspritzdrucks an der Maschine hat die Wirkung einer Druckbegrenzung, um z. B. bei zu groß eingestelltem Dosiervolumen die Gefahr des Überspritzens in die Werkzeugtrennebene zu verringern. Für die Grundeinstellung sollte der Begrenzungsspritzdruck auf das Maximum eingestellt werden, um zu gewährleisten, dass die Maschine die eingestellte Geschwindigkeit halten kann.

### Einspritzzeit

Einspritzzeit zur Überwachung

Die Einspritzzeit ergibt sich aus den eingestellten Geschwindigkeiten und Wegen. Sie wird meist nur als Überwachungszeit eingestellt, damit die Maschine den Prozess unterbricht, wenn der Einspritzvorgang nach Überschreiten dieser Zeit noch nicht beendet ist. Für die Grundeinstellung ist diese Überwachung wichtig, damit ein zu groß gewähltes Dosiervolumen nicht zum Überspritzen und somit zu Schäden am Werkzeug besonders an der Trennebene führt. Nach Erreichen der Überwachungszeit schaltet die Maschine den Spritzvorgang ab. Sollte die Einspritzzeit zu kurz gewählt worden sein, führt dies nicht zu Schäden am Werkzeug, der Spritzvorgang wird lediglich zu früh abgebrochen. Grundsätzlich gilt, dass anfangs die Einspritzzeit aus Sicherheitsgründen eher etwas zu kurz eingestellt werden sollte.

#### 3.2.3.2 Umschalten auf Nachdruck

Möglichkeiten zur Umschaltung von Einspritzphase auf Nachdruckphase

Für die Umschaltung von der Einspritzphase auf die Nachdruckphase stehen maschinenseitig vier verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Diese sind abhängig von Zeit, Weg, Hydraulikdruck und Werkzeuginnendruck. Für die vom Werkzeuginnendruck abhängige Umschaltung sind Zusatzeinrichtungen im Werkzeug erforderlich (Druckaufnehmer; diese sind nur in den wenigsten Werkzeugen vorhanden).

Von den genannten Umschaltarten wird die wegabhängige in der Praxis am häufigsten angewendet. Bei druck- oder zeitabhängiger Umschaltung machen sich Schwankungen der Viskosität der Schmelze deutlicher bemerkbar.

Volumetrische Füllung

Die Umschaltung von der Einspritz- auf die Nachdruckphase sollte beim Erreichen der volumetrischen Füllung der Kavität erfolgen, das ist der Wegpunkt, bei dem das Teil voll

aber noch nicht ausgeprägt ist. Eine einfache, in der Praxis ständig genutzte Methode ist das Erstellen eines Füllbilds. Dabei wird nach der Umschaltung auf die Nachdruckphase der Einspritzdruck auf null reduziert. An dem gefertigten Formteil lässt sich nun erkennen, ob in der Einspritzphase die volumetrische Füllung erreicht wurde.

Zur schematischen Bestimmung des Umschaltpunktes für die Grundeinstellung wird davon ausgegangen, dass die volumetrische Füllung der Kavität dann erreicht ist, wenn 95% des Schussvolumens eingespritzt wurde, d. h. wenn noch 5% des Schussvolumens im Zylinder sind. Dazu muss noch das Polster hinzuaddiert werden. Damit errechnet sich der wegabhängige Umschaltpunkt aus:

$$s_{\text{Umschalten}} = 0,05 \cdot s_{\text{Schuss}} + s_{\text{Polster}} \quad (3.2)$$

Die Werte ergeben sich aus der bereits genannten Tabelle (siehe Bild 3.7). Dazu liest man für das bereits ermittelte Schussvolumen den für die jeweilige Schneckengröße entsprechenden Einspritzhub ab, addiert hierzu ein Polster von 10 mm und kann direkt daneben den Umschaltpunkt bzw. das Umschaltvolumen ablesen.

Das Bild 3.9 veranschaulicht dieses Vorgehen. Ein Schussvolumen von 22 cm<sup>3</sup> bei einer 30 mm Schnecke ergibt ungefähr einen Schneckenweg von 33 mm. Mit einem Polster von 10 mm ist dann das Dosiervolumen 43 mm bzw. 29 cm<sup>3</sup>. Für dieses Dosiervolumen wäre dann ein Umschaltpunkt von ca. 12,1 mm zu wählen bzw. ein Umschaltvolumen von ca. 8 bis 9 cm<sup>3</sup>.

Standardisierte Einstellungen sind in der Praxis üblich. Der Umschaltpunkt ist bei den überwiegenden Praxiseinstellungen jedoch nicht optimal. Ein Grund dafür ist, dass ein anfangs bestimmter Wegpunkt nach weiteren Optimierschritten nicht mehr überprüft wird. An dieser Stelle sei auf Abschnitt 4.2 „Prozessablauf beim Einspritzen und Nachdrücken“ verwiesen. Hier wird auf die Bedeutung des Umschaltpunktes und auf die Schwierigkeiten hingewiesen, diesen in der Produktion optimal zu halten.

Hub / mm, Geschw. / mm/sec	Umschaltweg / mm	Hubvolumen / cm <sup>3</sup> bzw. Volumenstrom / cm <sup>3</sup> /sec bei Schneckendurchmesser / mm															
		18	25	30	35	40	45	50	60	70	80	85	90	95	100	1	
2	10,1	0,5	1,0	1,4	1,9	2,5	3,2	3,9	5,7	7,7	10,1	11,3	12,7	14,2	15,7	17	
4	10,2	1,0	2,0	2,8	3,8	5,0	6,4	7,9	11,3	15,4	20,1	22,7	25,4	28,4	31,4	34	
6	10,3	1,5	2,9	4,2	5,8	7,5	9,5	11,8	17,0	23,1	30,2	34,0	38,2	42,5	47,1	52	
8	10,4	2,0	3,9	5,7	7,7	10,1	12,7	15,7	22,6	30,8	40,2	45,4	50,9	56,7	62,8	69	
10	10,5	2,5	4,9	7,1	9,6	12,6	15,9	19,6	28,3	38,5	50,3	56,7	63,6	70,9	78,5	86	
15	10,8	3,8	7,4	10,6	14,4	18,8	23,9	29,5	42,4	57,7	75,4	85,1	95,4	106,3	117,8	12	
20	11,0	5,1	9,8	14,1	19,2	25,1	31,8	39,3	56,5	77,0	100,5	113,5	127,2	141,8	157,1	17	
25	11,3	6,4	12,3	17,7	24,1	31,4	39,8	49,1	70,7	96,2	125,7	141,9	159,0	177,2	196,3	21	
30	11,5	7,6	14,7	20,7	28,9	37,7	47,7	58,9	84,8	115,5	150,8	170,2	190,9	212,6	235,6	25	
35	11,8	8,9	17,2	24,3	33,7	44,0	55,7	68,7	99,0	134,7	175,9	198,6	222,7	248,1	274,9	30	
40	12,0	10,2	19,6	28,3	38,5	50,3	63,6	78,5	113,1	153,9	201,1	227,0	254,5	283,5	314,2	34	
45	12,3	11,5	22,1	31,8	43,3	56,5	71,6	88,4	127,2	173,2	226,2	255,4	286,3	319,0	353,4	38	
50	12,5	12,7	24,5	35,3	48,1	62,8	79,5	98,2	141,4	192,4	251,3	283,7	318,1	354,4	392,7	43	
55	12,8	14,0	27,0	38,9	52,9	69,1	87,5	108,0	155,5	211,7	276,5	312,1	349,9	389,9	432,0	47	
60	13,0	15,3	29,5	42,4	57,7	75,4	95,4	117,8	169,6	230,9	301,6	340,5	381,7	425,3	471,2	51	
65	13,3	16,5	31,9	45,9	62,5	81,0	103,4	127,6	183,8	250,1	326,7	368,8	413,5	460,7	510,5	56	

*Polster 10* (Handwritten arrow pointing to the 10 mm column)

*ca. 33* (Handwritten arrow pointing to the 33 cm<sup>3</sup> value in the 30 mm row)

*43 mm bzw. 29 cm<sup>3</sup>* (Handwritten note at the bottom)

**Bild 3.9** Ermittlung des Umschaltpunktes über das Schussvolumen

Standardisierte Angabe des Umschaltpunktes

### 4.5.1 Abkühlung (Berechnung)

Die Kühlzeit eines Bauteils kann nur experimentell ermittelt werden, denn das Kriterium für eine ausreichend lange Kühlzeit ist die Bauteilstabilität. Diese wiederum hängt ab vom E-Modul und der Geometrie.

Der E-Modul von Kunststoffen ist stark temperaturabhängig, je länger die Kühlzeit dauert, desto kälter wird das Bauteil und damit wird auch der E-Modul größer. Das Bauteil wird immer steifer. Die Geometrie eines Bauteils beeinflusst die Bauteilstabilität ebenfalls. Flache Teile ohne Rippen oder Sicken können sich leicht unter dem Einfluss von prozessbedingten Spannungen im Bauteil verformen. Rippen und Kanten sowie Wölbungen erhöhen die Bauteilsteifigkeit. Ohne die Information über die Geometrie kann also keine klare Aussage über die Dauer der Kühlzeit gemacht werden. Verrippte Bauteile können mit höheren Temperaturen und damit mit einem sehr geringen E-Modul bereits sehr steif und formstabil sein.

Die mittlere Entformungstemperatur ergibt sich aus dem Mittelwert aller Temperaturen über dem Querschnitt; sie ist für den Praktiker an der Maschine nicht zugänglich. Außerdem ergeben sich je nach Entfernung vom Anguss und je nach Einspritzgeschwindigkeit entlang eines Fließwegs unterschiedliche Temperaturen. Welche Kühlzeit letztendlich für die Produktion eines Spritzgussteils notwendig ist, entscheidet der Maschineneinrichter, indem er die Qualität der Teile bewertet.

Es gibt nun eine Näherungsformel, die auch als Kühlzeitformel bekannt ist und für eindimensionale Geometrien entwickelt wurde. Hiermit kann man in einer Raum-Richtung (z. B. die Dicke) abschätzen, welche Temperatur das Bauteil nach einer bestimmten Zeit hat:

$$\bar{t} = \frac{s^2}{\pi^2 a_{\text{eff}}} \ln \left( \frac{8}{\pi^2} \frac{T_{\text{Schmelze}} - \bar{T}_{\text{Werkzeug}}}{\bar{T}_{\text{Bauteil}} - \bar{T}_{\text{Werkzeug}}} \right) \quad (4.5)$$

mit

$\bar{t}$	Kühlzeit bis zum Erreichen einer mittleren Entformungstemperatur
$\hat{t}_{\text{kühlen}}$	Kühlzeit bis zum Erreichen der Entformungstemperatur in der Querschnittsmitte
$s$	Wanddicke
$a_{\text{eff}}$	Temperaturleitfähigkeit (setzt sich zusammen aus Wärmeleitfähigkeit, Dichte und spezifischer Wärmekapazität)
$T_{\text{Schmelze}}$	Temperatur der eingespritzten Schmelze
$\bar{T}_{\text{WKZ}}$	mittlere Werkzeugtemperatur
$\bar{T}_{\text{Bauteil}}$	mittlere Temperatur über dem Formteilquerschnitt
$\hat{T}_{\text{Bauteil}}$	max Temperatur in der Querschnittsmitte

Für die Berechnung der Kühlzeit sind leider die folgenden Eingabewerte nicht bekannt, weshalb man mit diesen Formeln allenfalls die Kühlzeit abschätzen kann:

- Die mittlere Temperatur des Bauteils, bei der eine ausreichende Stabilität gesichert ist, hängt auch von der Bauteilgeometrie ab.
- Die mittlere Werkzeugtemperatur ist nicht bekannt. Genau genommen müsste hier die heißeste Temperatur der Kavität im zyklischen Betrieb eingesetzt werden, denn es gibt Werkzeugbereiche, die sich schlecht kühlen lassen und Hotspots bilden.

Die Bauteilsteifigkeit bestimmt die Kühlzeit

Die „richtige“ Entformungstemperatur muss experimentell ermittelt werden

Kühlzeit ist abhängig von der Entformungsstabilität

Abschätzung der Abkühlzeit

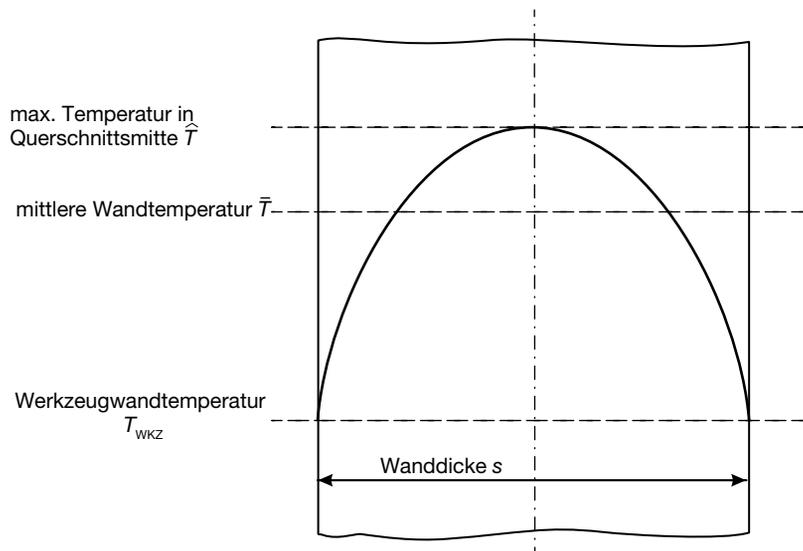
Temperaturprofil über dem Bauteilquerschnitt

Bei dem Temperaturprofil während des Abkühlvorgangs unterscheidet man die mittlere Temperatur über dem Querschnitt  $\bar{T}$  sowie die maximale Temperatur  $\hat{T}$  (vgl. Bild 4.30). Wegen der schlechten Wärmeleitfähigkeit von Kunststoffen sind Bauteile nach einer gewissen Abkühlzeit in der Querschnittsmitte immer noch sehr heiß. Wenn man in diese Formel plausible Werte eingibt, vereinfacht sie sich zu folgender Abschätzformel:

$$t_{\text{kühlen}} \cong 2s^2 \quad (4.6)$$

Als plausible Werte gelten z.B. Schmelzetemperatur ca. 200 °C, Werkzeugtemperatur ca. 20 °C, Entformungstemperatur ca. 60 °C und Wanddicke ca. 2 mm. Der Wert  $\alpha_{\text{eff}}$  kennzeichnet die Temperaturleitfähigkeit und ist bei Kunststoffen ungefähr 0,08 mm<sup>2</sup>/s. Man könnte nun auch höhere Schmelzetemperaturen wählen, dann wären die Werkzeugtemperatur sowie die Entformungstemperatur auch höher.

Die Kühlzeit steigt quadratisch mit der Wanddicke, d.h. ändert sich die Wanddicke um den Faktor 2, dann vergrößert sich die Kühlzeit um den Faktor 2<sup>2</sup> also um das 4-fache.



**Bild 4.30** Temperaturprofil in einem Werkzeug, Begriffserklärung für die unterschiedlichen Temperaturkennwerte

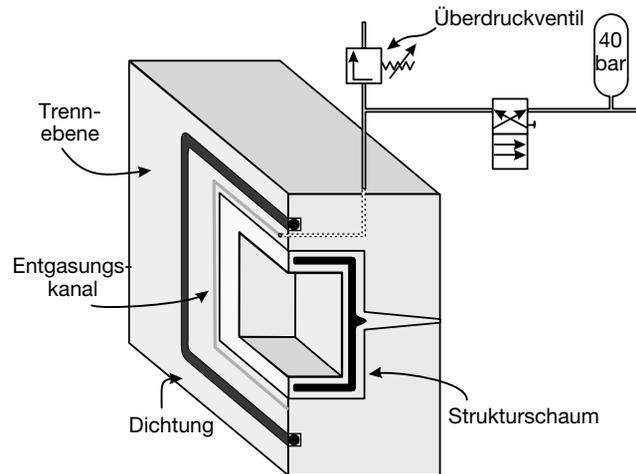
Für die Berechnung der Dauer der Nachdruckphase orientiert man sich zweckmäßigerweise am Wert  $\hat{T}$ , also nach der höchsten Temperatur im engsten, angussnahen Querschnitt. Wenn hier die Temperatur die Einfriertemperatur des Kunststoffs unterschreitet, kann man den Nachdruck abschalten. Für eine Abschätzung der Kühlzeit orientiert man sich dagegen an der mittleren Entformungstemperatur  $\bar{T}$ . Diese entspricht der von den Materiallieferanten empfohlenen Entformungstemperatur (vgl. Tabelle 3.1 „Empfohlene Massetemperaturen sowie Temperaturen für Zylinder und Werkzeug“).

Aus dieser Abkühlformel lässt sich weiterhin ableiten, dass eine Reduzierung der Massetemperatur um 10 °C einen kleineren Einfluss auf die Kühlzeit hat (ca. 5%), als eine

Beeinflussung der Kühlzeit über der Werkzeugtemperatur

Abdichtung des Werkzeugs und Zwangs-entlüftung

Voraussetzung für das Gasgegendruck-Verfahren ist ein luftdichtes Werkzeug, in der Regel mit elastischen Dichtungsmaterialien in der Trennebene abgedichtet. Damit der Druck zum Einspritzende hin entlastet werden kann, muss zusätzlich ein entsperrbares Überdruckventil im Bereich des Fließwegendes angebracht werden (Bild 5.4). Überdruckventile sind empfehlenswert, damit im Fall einer Störung der Überdruck automatisch entlastet werden kann. Denn die eingespritzte Schmelze komprimiert die bereits unter Druck stehende Luft in der Kavität zusätzlich, dadurch können sehr hohe Drücke entstehen.



**Bild 5.4** Werkzeugabdichtung beim Gasgegendruckverfahren

Das Verfahren ist hinsichtlich der Prozesstechnik völlig vergleichbar zur TSG-Technik. Die Ansteuerung des Überdruckventils ist der einzige Unterschied. Mit Ende der Prozessphase Einspritzen wird es entlastet, damit der Aufschäumprozess beginnen kann. Auch hier soll die Entlastung nur in der Kavität geschehen und nicht von der Schnecke her. Dazu verwendet man einen hohen Nachdruck maschinenseitig, um die Schnecke in der vorderen Position zu halten.

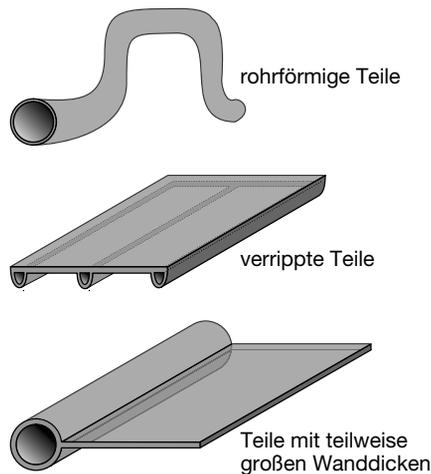
## ■ 5.2 Gasinnendrucktechnik (GIT)

Innendruck wird über zusammenhängenden Hohlraum eingebracht

Die GIT-Verfahren bieten ähnlich dem Prozess mit Treibmitteln die Möglichkeit, mit einem Überdruck aus dem Formteilinneren Einfallstellen zu vermeiden. Bei diesem Verfahren wird der Überdruck über einen zusammenhängenden Gashohlraum eingebracht. In vielen Fällen nutzt man den inneren Hohlraum nicht nur für die Gas-Nachdruckphase sondern auch als Funktionshohlraum, z. B. bei einem Luftführungskanal.

Prozessbedingt haben sich drei Formteilgruppen gebildet, die völlig anders als konventionelle Teile gestaltet sind (Bild 5.5). Es ist in der Regel nicht möglich bzw. nicht sinnvoll ein GIT-Teil mit der Standard-Spritzgießtechnik herzustellen. Die Produkte sind entweder insgesamt dickwandig und haben dann meist einen rohrförmigen Charakter (z. B. Pkw-Dachhimmelgriffe, Säbengriffe) oder sie sehen aus wie „normale“ Spritzgussteile, die aber auf der Rückseite dickere Gasführungschanäle aufweisen (z. B. Tischplatten, Stuhlrücklehnen, Fernsehgehäuse). Eine dritte Gruppe von Teilen mit ebenfalls weitgehend „normalen“ Wanddicken besitzt zusätzlich Bereiche mit großen Wanddicken (Pkw-Türseitentasche, Pkw-Rückspiegelgehäuse).

Mögliche Produktgruppen



**Bild 5.5** Formteilgruppen geeignet für das GIT-Verfahren

Grundsätzlich unterscheidet man beim GIT-Prozess zwei unterschiedliche Verfahren: das Standard-GIT- und das Ausblasverfahren. Der Unterschied zwischen beiden ist, dass beim Standard-GIT-Verfahren der Einspritzvorgang mit Schmelze nur teilweise vollständig ist, d. h. die Restfüllung übernimmt der Gasdruck. Beim Ausblasverfahren wird die Kavität zunächst vollständig gefüllt und anschließend mittels Gasdruck wieder Schmelze aus der Kavität herausgedrückt. Das Ausblasverfahren ist geeignet für die Produkte aller genannter Gruppen, während das Standard-GIT-Verfahren besonders für verrippte Teile eingesetzt wird.

Prozessvarianten

### 5.2.1 Druckverlauf bei der Gasinnendrucktechnik

Die Aussagen über den Druckverlauf haben auch bei den meisten Sonderverfahren ihre Gültigkeit, auf Ausnahmen aufgrund einer speziellen Prozessführung wird in den jeweiligen Abschnitten eingegangen. Anders ist es bei der Gasinnendrucktechnik, weil hier die eingesetzten Medien eine völlig unterschiedliche Viskosität haben. Das für den Prozess notwendige Gas besitzt eine um ungefähr den Faktor  $10^5$  geringere Viskosität als die Schmelze. Damit ist der Druck innerhalb eines Hohlraums unabhängig von der

Druck innerhalb eines Hohlraums ist überall gleich groß

# 6

## Die letzten Schritte zur Qualität

Viele Spritzgießmaschinen arbeiten nicht am optimalen Betriebspunkt, d. h. sie produzieren nicht die bestmögliche Qualität. Hierfür gibt es viele Gründe, für die der Einrichter meist nicht verantwortlich ist. Jeder Praktiker weiß, dass sich die Qualität der Teile in Zeitabständen von mehreren Stunden oder sogar Tagen auch bei konstanten Einstellparametern ändert. Auslöser kann z. B. das Rohmaterial sein, wenn verschiedene Farben verarbeitet werden, oder das Granulat stammt aus unterschiedlichen Chargen des Rohstoffherstellers.

Optimale Einstellung hängt vom Materialzustand ab

Kennt man die Ursache für eine Qualitätsänderung, kann man durch Überwachung der entsprechenden Einflussgröße die Qualitätsänderung rechtzeitig erkennen und ggf. in den Prozess eingreifen. In der Praxis ist das aber meist nicht möglich, weshalb man andere Wege suchen muss, die Qualität konstant zu halten bzw. zu optimieren.

Eine zusätzliche Schwierigkeit der Prozessoptimierung ist die Tatsache, dass sich die einzustellenden Prozessparameter vielfach gegenseitig beeinflussen. Hier ist der Einrichter oft überfordert. Ein Beispiel ist die Prozessstreuung, der dann eine besondere Bedeutung zukommt, wenn das Prozessfenster sehr klein ist, also die Einstellgrenzen für gute Qualität sehr eng sind. Da kein Prozess absolut konstant abläuft, führt die Prozessstreuung bei einem kleinen Verarbeitungsfenster schnell zu Ausschuss.

Problem der Streuung

Die Optimierung der Qualität von Spritzgussteilen erfordert zwei Schritte. Als erstes muss eine Bestandsaufnahme vorgenommen werden, damit man die Ursache des Problems erkennen kann. Die Hilfsmittel zur Dokumentation werden im folgenden Abschnitt beschrieben. Der zweite Schritt der Qualitätsoptimierung besteht in einer Modellbildung, d. h. einer mathematischen Beschreibung des Prozesses. Mit einem solchen Modell kann man erkennen, welche Prozessgrößen starken Einfluss auf die Qualität haben. Die Modellbildung erfordert als zusätzliche Hilfsmittel spezielle Computerprogramme (siehe Abschnitt 6.2).

Qualitätssicherung in zwei Schritten

## ■ 6.1 Dokumentation und Überwachung

Dokumentation von Bauteilmerkmalen

Die Dokumentation der Produktionsdaten ist der Schlüssel jeder Qualitätsstrategie. Grundsätzlich reicht es für eine Zertifizierung nach DIN/ISO aus, wenn vorgegebene Qualitätsmerkmale dokumentiert werden. Dabei ist es unwichtig, wie die Spritzgussteile hergestellt werden. Wichtig ist nur die resultierende Qualität, z. B. ob vorgegebene Toleranzen eingehalten werden. Es gibt aber auch Produkte, bei denen gefordert wird, dass die Prozessdaten für einen langen Zeitraum verfügbar sind, z. B. wenn es um Sicherheitsteile geht. Hier können mögliche Schadenssummen infolge von Produkthaftung beachtlich sein.

Prozess-Ist-Werte können die Bauteilqualität widerspiegeln

Es gibt grundsätzlich die Möglichkeit, die tatsächliche Qualität am Spritzgussteil und die indirekte Qualität über die Prozessbedingungen zu erfassen. Im Folgenden wird nur auf die indirekte Qualität eingegangen, denn hier ist der Bediener an der Maschine besonders gefordert. Die Produktionsdaten können sowohl als kontinuierliche Liste als auch in komprimierter Form (siehe Abschnitt 6.1.2 „Statistical Process Control (SPC)“) vorliegen, sie spiegeln aber nur sehr begrenzt die tatsächliche Qualität der Teile wider.

### 6.1.1 Kontinuierliche, chronologische Überwachung

Die permanente Erfassung von Produktionsdaten ist mit modernen, über Mikroprozessoren gesteuerten Maschinen unproblematisch. Die Maschinen sind mit Sensoren für Wege, Temperaturen und Drücke ausgerüstet. Außerdem ist es mit jeder modernen Steuerung möglich, Prozessgrößen auch in sehr kleinen Zeitabständen zu messen. So gesehen kostet es nichts, wenn die Prozessdaten permanent aufgezeichnet werden.

Schwankende Ist-Werte bedeuten nicht zwingend Qualitätsschwankungen

Es ist aber wichtig zu wissen, dass die Qualität der Spritzgussteile anhand einzelner Prozessdaten nicht dargestellt werden kann. Die zyklische Schwankung z. B. des Polsterwertes sagt unmittelbar nichts über die Schwankung der Qualität aus. Man kann allenfalls vermuten, dass Schwankungen in den Prozesswerten auch Schwankungen in der Qualität mit sich ziehen. Das heißt aber nicht, dass, wenn die Prozesswerte nicht schwanken, die Qualität nicht trotzdem schwanken kann.

Ist-Wert Überwachung ist für eine Ursachenfindung nach einer Störung wichtig

Die Prozessparameter sollten bei jeder Produktion kontinuierlich mitgeschrieben werden. Die Aufzeichnung der Parameter dient quasi als Flugschreiber und ist für die Fehlerbehebung hilfreich. Im Falle einer plötzlich auftretenden Störung kann man oft direkt anhand der aufgezeichneten Prozessparameter die Ursache erkennen. Hierzu reichen meist die Daten der letzten 100 Zyklen aus.

#### 6.1.1.1 Die Bedeutung einzelner Prozessparameter

Nicht alle Prozessparameter haben eine eindeutige Aussagekraft. Einige der nachfolgend diskutierten Werte sind nicht standardmäßig verfügbar bzw. benötigen zusätzliche Sensoren.

# Index

## A

Abkühlspannungen 97  
Abkühlung 101  
Abkühlvorgang 102  
Abspritzkuchen 26  
Abspritzmethode 110  
adaptive Maschinenregelung 190  
adaptive Prozessregelung 188  
Additive 35  
allgemeine Funktionsteile 44  
amorph 77  
Anfahren 108  
Anguss 15  
Angussbuchse 15  
angussferne Einfallstellen 62  
angussnahe Einfallstellen 61  
Angussverteiler 16  
Anisotropie 35, 36  
APC 193  
Aufschäumen 113  
Aufschäumreaktion 114  
Aufzeichnung des maximalen Einspritzdrucks 163  
Ausblasverfahren 119  
Ausreißerwerte 188  
Austragsfaktor 26  
Auswerfer 9  
Auswerferkupplung 10  
Auswerferseite 16  
Auswerfersystem 16  
axiales Temperaturprofil 46

## B

Backenwerkzeug 17  
Bedienoberfläche 10  
Begrenzungsdruck 26  
Bindenaht 26, 63, 92, 104  
- heiße 93  
- kalte 93  
Blend 35

Brandstellen 66  
Brenner 26, 94

## D

Dichteprofil 114  
Dieseleffekt 26, 66, 94  
Diffusion 104  
Dosieren 48  
Dosiervolumen 27, 48  
Dosiervorgang 48  
Dosierweg 48  
Dosierwegschwankungen 50  
Dosierzeit 164  
Drehbolzendüse 14, 15  
Dreheinsatz 17  
Dreiplattenwerkzeug 17  
Druckkurve 163  
Druckminimum 74  
Druckspritze 80  
Druckverlauf 119  
Druckverlust 27  
- im Gaskanal 120  
- im Heißkanal 79  
Durchbruch 17  
Düse 10  
Düsentemperatur 47

## E

Effekte 180  
Einbauhöhe 25  
Einfallstelle 27, 61  
Einflüsse 180  
Einflussgrößen 179  
Einspritzarbeit 165  
Einspritzdruck 27, 54  
Einspritzgeschwindigkeit 84  
Einspritzvolumenstrom 84  
Einspritzvorgang 53

Einspritzzeit *54, 166*  
 Einspritzzylinder *10*  
 Einstellgrenzen *161*  
 Einstellparameter *28*  
 Elastizität *99*  
 Entformungsproblem *111*  
 Entformungstemperatur *101*  
 Entgasung *159*  
 Entgasungseinheit *159*  
 Entgasungs-Plastifiziereinheit *159*  
 Entladung *28*  
 Entlüftungsspalt *95*  
 erstarrte Randschicht *150*  
 Etagenwerkzeug *17*  
 Evolutionsoptimierung *183*  
 EVOP *183*  
 Explosionen *133*

## F

Faltenbildung *93*  
 Farbschlieren *66*  
 Farbwechsel *149*  
 Fehleranalyse *170*  
 Fehlerbeseitigung *60*  
 Fehlerfrequenz *168*  
 Feuchtigkeitsschlieren *65*  
 Fließbremse *18*  
 Fließfront *28*  
 Fließhilfe *18, 154*  
 Fließnaht *92*  
 Fließweg *28*  
 Fließwegende *28*  
 Fließweglänge *43*  
 Fließzahl *192*  
 Fließzahlregelung *191*  
 Flügel *11*  
 Form *18*  
 Formaufspannplatte *10, 15*  
 Formfüllprobleme *61*  
 Formnest *18*  
 Formteildimension *106*  
 Formteilkategorie *43*  
 Freistrahle *28, 63, 64*  
 Freistrahlebildung *63*  
 Friktion *112, 167*  
 Führungsgröße *190*  
 Füllbild *29, 90, 123*  
 Füllindex *195*  
 Füllstudie *29*

## G

Gas-Außendrucktechnik *134*  
 Gasdurchbruch *126*  
 Gasgegendruck *117*  
 Gasinnendrucktechnik *118*

Gaskanalvolumen *122*  
 Gaskanalwand *123*  
 Gasleckage *132*  
 Gesenk *19*  
 Granulat *35*  
 Grat *62*  
 Gratbildung *62*  
 großflächiges Prägen *136*  
 Grundeinstellung *40*

## H

Hagen-Poiseuille *69, 73*  
 Hautkomponente *157*  
 Heißkanal *19*  
 Heißkanaldüse *19*  
 Heißkanaltemperatur *47, 167*  
 Holm *10*

## I

ideales Nachdruckprofil *89*  
 Injektor *123, 126*  
 innere Eigenschaften *95*  
 Intrudieren *29*  
 IQ-Weight Control *193*  
 Isolierkanal *19*  
 Ist-Werte *29*

## K

Kaltkanal *20*  
 Kavität *20*  
 kein Umsetzen *145*  
 Kern *20*  
 Kernhub-Werkzeuge *145*  
 Kernkomponentenschichten *150*  
 Kernkühlung *108*  
 Kernverformung *21*  
 Kernversatz *20*  
 Kernzug *20, 21*  
 Klinkenzug *21*  
 Kniehebel *12*  
 kontinuierliche Aufzeichnung *168*  
 Korrelationsanalyse *189*  
 Korrelationsanalyse durch Befragung *189*  
 Kristallisation *98*  
 Kristallisationspunkt *79*  
 Kühlzeit *58, 101*

## L

Lego-Prozess *191*  
 Luftkompression *29*  
 Luftschlieren *66*  
 Lunker *134*

**M**

Mahlgut 35  
 Maschinenfähigkeit 175  
 Maschinenparameter 45  
 Massepolster 29, 166  
 Masserückdruckverfahren 127, 130  
 Massetemperatur 46  
 maßhaltige Teile 79  
 Masterbatch 35  
 Materialabbau 112  
 Materialversorgung 168  
 Matrize 22  
 Medieneinfluss 98  
 Mehrkomponentenspritzgießen 142  
 Messung der Schmelztemperatur 110  
 MFI 35  
 mittlere Wanddicke 43  
 Monomere 36  
 Monosandwich-Verfahren 152, 158  
 Mutation 183

**N**

Nachdruck 29, 56, 86  
 Nachdruckbausteine 137  
 Nachdruckhöhe 87  
 Nachdruckstufe 56  
 Nachdruckzeit 57, 86  
 Nachkristallisation 99  
 Nadelverschluss 22  
 natürliche Evolution 183  
 Nebenkavität 129  
 Nebenkavitätenverfahren 127, 129  
 Normalverteilung 171

**O**

Oberflächenmarkierung 126  
 optimale Nachdruckzeit 57  
 optimaler Betriebspunkt 161  
 Optimierung 40  
 Optimierungskriterien 177  
 Orientierungen 95  
 Overmolding 142

**P**

Parametervariationen 185  
 partielles Prägen 136  
 PC 76  
 periodische Schwankungen 168  
 periodische Temperaturwechsel 100  
 Plastifiziereinheit 10  
 Plastifizieren 30  
 Plastifiziergeschwindigkeit 52  
 Polster 30, 55, 166

Prägehub 137  
 Prägen  
 – großflächiges 138  
 – passives 139, 141  
 Prägestart 141  
 Prägevorgang 136, 141  
 Produktionsdaten 162  
 Produktionsüberwachung 177  
 projizierte Formteifläche 44  
 Prozessfähigkeit 175  
 Prozessfenster 40  
 Prozessoptimierung 161  
 Prozessparameter 39, 45  
 Prozessregelung 171  
 Prozessstrategie 186  
 Prozessunterbrechungen 47  
 Prozesswissen 183  
 Punktanguss 22  
 pVT-Diagramm 77  
 pVT-Strategie 187

**Q**

Qualität 41, 161  
 Qualitätsänderung 161  
 Qualitätsanforderung 60  
 Qualitätsaufzeichnung 171  
 Qualitätsmerkmale 177  
 Qualitätsparameter 179  
 quasistationär 30  
 Quellfluss 30, 74, 148  
 Quellvorgang 74  
 Querbolzendüse 14

**R**

Regelkarten 173  
 Regenerat 36  
 Restwanddicke 125  
 Rillenbildung 30, 65  
 Rückdruckstifte 23  
 Rückströmsperre 11

**S**

Sandwichaufbau 148  
 Sandwichmolding 142, 147  
 Sandwichstruktur 149  
 Sandwichverfahren 148  
 Säule 10, 12  
 Schallplatteneffekt 30, 65  
 Schäumwirkung 116  
 Schergeschwindigkeit 96  
 Schichtdicke von Hautkomponenten 154  
 Schichtdicke von Kernkomponenten 154  
 Schlieren 30, 65

- Schließe 12  
 Schließeinheit 12  
 Schmelzhomogenität 50  
 Schmelzkompression 30  
 Schmelzerückfluss 83  
 Schmelzeteilchen 74  
 Schmelzetemperatur 45  
 Schmelzetemperaturmessung 110  
 Schmelzeführung 155  
 Schmelzindex 36  
 Schnecke 12  
 Schneckenrückzug 30, 52  
 Schnecken spitze 12  
 Schneckenraum 12  
 Schrägschieber 17, 24  
 Schrumpferhalten 96  
 Schuss 30  
 Schussgewicht 30, 42  
 schwarze Punkte 76  
 Schwerkrafteinfluss 69  
 Schwimmhäute 62  
 Schwindung 30  
 – Nach- 31  
 – Verarbeitungs- 31  
 Schwindungspotential 123, 127, 138  
 Schwindungsvolumen 78, 86  
 Selektion 183  
 Siegelzeit 86  
 Silberfische 34  
 Silberschlieren 115  
 Simplex 184  
 Simplex-Strategie 184  
 Soll-Werte 34  
 Spannungslinien 96  
 SPC 170  
 Spezifikationsgrenzen 175  
 spezifischer Spritzdruck 28, 34  
 Spritzprägen 136  
 Sprungantworten 169  
 Standardabweichungen 173  
 Standard-GIT-Verfahren 121  
 Standard-Sandwichmaschine 155  
 Statistical Process Control 170  
 statistische Versuchsplanung 177  
 Staudruck 34, 52  
 Stichprobe 173  
 Stromlinien 75  
 SVP 177
- T**
- Tauchkante 24  
 Tauchkantenwerkzeug 136  
 technische Teile 44  
 Technologiematrix 181  
 Teileklasse 84  
 teilkristallin 77, 99
- temperaturempfindliche Kunststoffe 112  
 Temperaturen 45  
 Temperaturprofil  
 – quasistationäres 108  
 Temperaturschwankung 110, 168  
 Temperaturschwankung beim Anfahren 109  
 Temperierprobleme 108  
 Torpedo 14  
 Touchieren 25  
 Treibmittel 36, 113  
 – chemische 113  
 – physikalische 113  
 Trendänderung 169  
 Trennebene 25  
 Trennnaht 34  
 Trocknerkapazität 168  
 Trocknung 36  
 TSG 115  
 Tunnelanguss 25
- U**
- Überladung 34  
 Überspritzung 34  
 Umschaltarten 54  
 Umschalten auf Nachdruck 54  
 Umschaltpunkt 58, 164  
 Umschaltung 54  
 Umschaltung in die Nachdruckphase 80  
 Umschaltvorgang 157  
 Umsetzen mit Drehbewegung 144  
 Umsetzen mit Roboter 145  
 Unterdosierung 160  
 unvollständige Werkzeugfüllung 61  
 Ursachenanalyse 170
- V**
- Vercracking 36  
 Verdrängerkerne 138, 141  
 Verlauf der Prozessparameter 168  
 Verpackungsteile 44  
 verrippte Formteilunterseite 134  
 Verschlussdüse 13, 14, 15  
 Versiegelung 34  
 Verstärkung 36  
 Verteilersystem 16  
 Verzug 36  
 Viskosität 37  
 Viskositätsanstieg 99  
 Viskositätsindex 194  
 vollhydraulisch 13  
 Vorspritzling 142  
 Vorspritzling-Transport  
 – manueller 146

**W**

Wärmeformbeständigkeit 96  
Warmlagerung 96  
Warngrenzen 173  
Wasserbad 117  
Wechselwirkung 179  
Werkzeugatmung 34  
Werkzeugaufspannplatte 9, 15  
Werkzeugbreite 25  
Werkzeugeinbauhöhe 26  
Werkzeuginnendruck 28, 164  
Werkzeuginnendruckmessung 79  
Werkzeugtemperatur 47, 103  
Werte  
- maschinenbezogene 3  
- spezifische 2  
Würstchenbildung 63

**Z**

Zähigkeit 99  
Zentrierring 26  
Zugspannungen 97  
Zurückdrücken der Schnecke 130  
Zykluszeit 164  
Zylindertemperatur 46, 167