

HANSER

# Handbuch Spritzgießen

Friedrich Johannaber, Walter Michaeli

ISBN 3-446-22966-3

Leseprobe 1

Weitere Informationen oder Bestellungen unter  
<http://www.hanser.de/3-446-22966-3> sowie im Buchhandel

# 5 Spritzgießverfahren

Spritzgießen ist das bedeutendste Verfahren zum Herstellen von Formteilen aus Kunststoffen und Kautschuk. Die Spanne seiner Leistungen bezüglich Formteilgröße und Schnelligkeit ist inzwischen extrem groß geworden. Es werden Teile der Größe von wenigen mg bis zu 150 kg hergestellt und dieses in Zykluszeiten von einer Sekunde bis zu ca. 15 Minuten. Es ist sehr ökonomisch und verhilft u. a. dadurch den Kunststoffen zu einer außerordentlichen Wettbewerbsfähigkeit.

Spritzgussteile verlassen den Arbeitsplatz meist verwendungsfertig und sind vergleichsweise maßhaltig, da sich der Spritzgießprozess sehr exakt führen lässt.

Das Spritzgießen ist gekennzeichnet durch eine Fülle von Verfahrensvarianten. Das Verfahren ist sehr erfolgreich bei der Herstellung von Formteilen aus Kautschuk und Naturstoffen. Es ist in hohem Maße geeignet für Formmassen, bei denen der Kunststoff nur zur Formgebung dient, so z. B. für Keramik- und Metallteile.

## 5.1 Begriffe und Kurzzeichen

Die Erklärung der Kurzzeichen und Begriffe dient dem Verständnis dieses Buchs. Gleichzeitig würde eine gleichsinnige Benutzung der Begriffe in der gesamten Spritzgießbranche zu einer Beseitigung von kostentreibenden Missverständnissen führen.

### 5. 1.1 Kurzzeichenverzeichnis der Methoden und Verfahren, Institutionen

Kurzzeichen	Bedeutung	Erläuterung
AKI	Arbeitsgemeinschaft Deutsche Kunststoffindustrie	
AVK-TV	Arbeitsgemeinschaft Verstärkte Kunststoffe – Technische Vereinigung	60329 Frankfurt
ASTM	American Society Testing Materials	amerikanische Normenstelle
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung	
BFK	Borfaser-verstärkte Kunststoffe	
BGA	Bundesgesundheitsamt	

*Kurzzeichenverzeichnis der Methoden und Verfahren, Institutionen (Fortsetzung)*

Kurzzeichen	Bedeutung	Erläuterung
BMC	Bulk Moulding Compound	s. Abschnitt 6.17.1.2
BS	British Standard	englische Normenstelle
CAD	Computer Aided Design	
CAE	Computer Aided Engineering	
CAM	Computer Aided Manufacturing	
CAMPUS		Kunststoffdatenbank s. Abschnitt 3.7
CEN	Centre Européen de Normalisation	Institution für europäische Normen
CFK	Kohlenstofffaser-verstärkter Kunststoff	
CIM	Computer Integrated Manufacturing	
CIM	Ceramic Injection Moulding	s. Abschnitt 6.16
CVG	Counter-Valve-Gate	s. Abschnitt 5.2.1.6.2.2
DG-SG	Direkt-Gas-Spritzgießen (oder Direkt-begasungsverfahren)	
DIF	Direct Incorporation of Continuous Fibers	endlos Langfaserverarbeitung beim Spritzgießen s. Abschnitt 6.14
DIF	Deutsches Industrieforum für Technologie	47879 Kempen
DIN	Deutsches Institut für Normung	
DIN EN		Europäische Norm
DKG	Deutsche Kautschuk Gesellschaft	60487 Frankfurt
DKI	Deutsches Kunststoff-Institut	64289 Darmstadt
DMC	Dough Moulding Compound	s. Abschnitt 6.15.2.1
EMI	Elektromagnetische Interferenz (Abschirmung) (Electro Magnetical Interference)	s. Abschnitt 3.5.1
EuroKMI	Kunststoffmaschineninstitut für Europa	58638 Iserlohn
EUROMAP	Europäisches Komitee der Hersteller von Kunststoffmaschinen	der VDMA ist Mitglied
FDA	Food and Drug Administration	Amt für Lebensmittelüberwachung in USA
FEM	Finite-Elemente-Methode	
FIT	Fluid-Injektions-Technik	

*Kurzzeichenverzeichnis der Methoden und Verfahren, Institutionen (Fortsetzung)*

Kurzzeichen	Bedeutung	Erläuterung
FKuR	Forschungsinstitut Kunststoff und Recycling	47877 Willich
FNK	Fachnormenausschuss für Kunststoffe	
FGT	Fließgusstechnik	für Intrusion zu verwendender Begriff
FVTT	Fachverband Technische Teile	60329 Frankfurt
GAFIM	Gas Assisted Fibre Braid Injection Moulding	Gasunterstütztes Spritzgießen von geflechtverstärkten Medienleitungen
GAIM	Gas Assisted Injection Moulding	in Deutsch: GIT
GAIN	Gas Assisted Injection	Prozess der Fa. Gain Technologies
GAPIM	Gas Assisted Powder Injection Moulding	GIT bei Pulverformmassen (Keramik, Metall)
GASIM	Gas Assisted Sequential Injection Moulding	sequentielles Spritzgießen von GIT Medienleitungen
GAT	Gas-Aussendruck-Technik	Vereinzelt auch GAD (Gas-Aussendruck)
GF	Glasfasern	
GFK	Glasfaser-verstärkte Kunststoffe	Hinweis auf Verwendung von Glasfasern in Kunststoffen
GG-SG	Gas-Gegendruck-Spritzgießen	
GID	Gas-Innendruck-Technik	auch verwendet für GIT
GIP	Gas-Injektions-Prozess	auch verwendet für GIT
GIT	Gas-Injektions-Technik	übergeordneter Begriff für Gasinjektion beim Spritzgießen, weitere Verfahren, s. Abschnitt 6.3.1
GIT-S	Gas-Injektions-Technik mit Schaumkomponente	
GKV	Gesamtverband kunststoffverarbeitende Industrie	60329 Frankfurt
GS	Gesamtschwindung	
GTS	Gegen-Takt-Spritzgießen	auch GTS, s. Abschnitt 6.6.1
GuK	Fachgemeinschaft Gummi- und Kunststoffmaschinen im VDMA	60528 Frankfurt

*Kurzzeichenverzeichnis der Methoden und Verfahren, Institutionen (Fortsetzung)*

Kurzzeichen	Bedeutung	Erläuterung
HD-SG	Hochdruck-Spritzgießen	s. Abschnitt 6.3
HELGA	Hettinga Liquid Gas Assisted Injection Moulding	Verfahren nach Fa. Hettinga
HPT	Hinterpresstechnik	
HST	Hinterspritztechnik	s. Abschnitt 6.5.8.3
IKM	Institut für Kunststoffe im Maschinenbau (jetzt IK <sup>2</sup> )	45127 Essen
IK	Institut für Kunststofftechnik und Kunststoffmaschinen, Universität Essen	45127 Essen
IKP	Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde	70569 Stuttgart
IKT	Institut für Kunststofftechnologie	70199 Stuttgart
IKV	Institut für Kunststoffverarbeitung	52062 Aachen
IMC	In-Mould-Coating	s. Abschnitt 6.5.9
IMD	In Mould Decoration	s. Abschnitt 6.5.8.4
IMD-F	In- Mould – Film – Decoration	s. Abschnitt 6.5.8.3
3D-IMD	Interconnected Molded Devices	s. Abschnitt 6.5.7.8
IML	In-Mould-Labeling	s. Abschnitt 6.5.8.2
IPF	Institut für Polymerforschung Dresden	01069 Dresden
I-SG	Insert-Spritzgießen	s. Abschnitt 6.5.1
ISO	International Standardization Organization	Stelle für internationale Normung
ITM	Injection-Transfer-Moulding	s. Abschnitt 6.14.2
JIT	Just In Time	
K. I. M. W.	Kunststoff-Institut für die mittelständische Wirtschaft	56507 Lüdenscheid
KKM	Institut für Konstruktionslehre und Kunststoffmaschinen (jetzt IK <sup>2</sup> )	45127 Essen
KTP	Technologie der Kunststoffe	33098 Paderborn
KuZ	Kunststoffzentrum in Leipzig	04229 Leipzig
KVL	Märkische Fachhochschule Iserlohn	58644 Iserlohn

*Kurzzeichenverzeichnis der Methoden und Verfahren, Institutionen (Fortsetzung)*

Kurzzeichen	Bedeutung	Erläuterung
LCP	Liquid Crystal Polymers	
LF-SG	Langfaserspritzgießen	s. Abschnitt 6.14
LIM	Liquid Injection Molding	s. Abschnitt 6.14.1 Spritzgießen von Harzen mit spezieller Injektionseinheit
LISA	Lichtsammelnde Kunststoffe	
LKT	Lösekerntechnik	s. Abschnitt 6.7.2
LKT	Lehrstuhl für Kunststofftechnik	91058 Erlangen
LP	Low-Profile (UP-Harz)-Systems	Harze mit glatter Oberfläche
LSR	Liquid Silicone Rubber	Silikonkautschuk
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration	Angaben über Zulässigkeit von flüchtigen Stoffen am Arbeitsplatz
MFI	Melt Flow Index	Schmelzindex
MLFM	Multi-Live Feed Injection Moulding	s. Abschnitt 6.6.2
MFK	Metallfaser-verstärkte-Kunststoffe	
MIM	Metal Injection Moulding	s. Abschnitt 6.16
MK-SG	Mehrkomponentenspritzgießen	s. Abschnitt 6.5.6
2K-SG	Zweikomponentenspritzgießen, Sand- wichverfahren	s. Abschnitt 6.5.7.1
2F-SG	Zweifarb-Spritzgießen	s. Abschnitt 6.5.6.1
3K-SG	Dreikomponentenspritzgießen/Sand- wichverfahren	s. Abschnitt 6.5.7.1
3F-SG	Dreifarb-Spritzgießen	s. Abschnitt 6.5.6.1
MPA	Staatliche Materialprüfungsanstalt, Darmstadt	
MS-SG	Mehrschalen-Spritzgießen	s. Abschnitt 6.7.3
MVI	Melt Volume Index	
MVR	Melt Volume Rate	Gleich MVI, Schmelz-Volumen- fließrate
ND-SG	Niederdruck- Spritzgießen	s. Abschnitt 6.2.1

*Kurzzeichenverzeichnis der Methoden und Verfahren, Institutionen (Fortsetzung)*

Kurzzeichen	Bedeutung	Erläuterung
NMC	Nodular Moulding Compound	s. Abschnitt 6.15.2.3
NS	Nachschwindung	s. Abschnitt 5.8.7
O-SG	Outsert-Spritzgießen	s. Abschnitt 6.5.2
PIK	Polymer-Institut Kunststofftechnik	74081 Heilbronn
PIM	Powder Injection Moulding	s. Abschnitt 6.16 Pulverspritzgießen
PTK	Polymertechnik/Kunststofftechnikum Berlin	10632 Berlin
QM	Qualitäts-Management	
QS	Qualitätssicherung	
RP	Rapid Prototyping	s. Abschnitt 11.7.2
RT	Raumtemperatur	
SCORIM	Shear Controlled Orientation Injection Moulding	s. Abschnitt 6.6.4
SCORTEC	Shear Controlled Orientation Technology	s. Abschnitt 6.6.4
SG	Spritzgießen	
SKT	Schmelzkerntechnik	s. Abschnitt 6.7.1
SKZ	Süddeutsches Kunststoffzentrum	97082 Würzburg
SPC	Statistische Prozess-Kontrolle	engl. Control
SPE	Society of Plastics Engineers	
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung	
SPT	Spritzprägetechnik	s. Abschnitt 6.2.4
STL	Stereolithographie	s. Abschnitt 10.5.1
TAF	Thermoplast-Schaum-Spritzgießen	Sonderverfahren des TSG-Verfahrens
TAK	Steinbeis-Transferzentrum Aalen Kunststofftechnik	73430 Aalen
THIM	Thixomoulding	Spritzgießen von Magnesium
TQM	Total Quality Management	
TSG	Thermoplast-Schaum-Spritzgießen	

*Kurzzeichenverzeichnis der Methoden und Verfahren, Institutionen (Fortsetzung)*

Kurzzeichen	Bedeutung	Erläuterung
TSV	Tandem – Spritzgießverfahren	s. Abschnitt 6.12.1
UL	Underwriters' Laboratories	US-Normungsbehörde
VB-SG	Verbindungs-Spritzgießen	s. Abschnitt 6.2
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau	u. a. Gruppierung für Gummi- und Kunststoffmaschinen s. GuK (s. EUROMAP)
VKE	Verband Kunststoffherzeugende Industrie	60329 Frankfurt
WAIM	Water assisted Injection Moulding	Wasser-Injektions-Technik
WIT	Wasser-Injektions-Technik	
ZMC	Spritzgießverfahren zur Herstellung großflächiger UP-Harz-Teile	s. Abschnitt 6.15.2.2
ZSK	Zwei-Schnecken-Knetter	Extruder für Aufbereitungsaufgaben
ZST	Zwischenschicht-Hinterspritztechnik	s. Abschnitt 6.2.4.2
2K-Technik	Zwei-Komponenten-Spritzgießen (Technik).	s. Abschnitt 6.2.3.1
3K-Technik	Drei-Komponenten-Spritzgießen (Technik)	s. Abschnitt 6.2.3.3

## 5.1.2 Begriffe des Spritzgießens nach DIN 24450

Wesentliche Begriffe des aktuellen Sprachgebrauchs in der Kunststoffverarbeitung und auch für das Spritzgießen wurden schon vor vielen Jahren in DIN 24450 zusammengefasst. Sie ist vom Ausschuss für Kunststofftechnologie und Kunststoffmaschinen im Verein Deutscher Ingenieure (VDI) in Verbindung mit dem Fachnormenausschuss im DIN erarbeitet und in EUROMAP aufgenommen worden. Diese Aufstellung wird dem Handbuch „Das Spritzgussteil“ entnommen [1]. Ziel dieser Zusammenstellung ist es, einheitliche und unmissverständliche Begriffe in die Fachsprache einzuführen. Soweit möglich wurden im Sprachgebrauch übliche Worte verwendet. Begriffe, die eingefügt wurden, ohne dass sie in DIN 24450 erfasst wurden, sind eigens gekennzeichnet. Eine sehr umfangreiche Beschreibung der Begriffe erfolgt auch in [2, 3]. Darüber hinaus klärt Begriffe aus dem Bereich Spritzgießen der folgende Auszug aus DIN 24450.

## Auszug aus DIN 24450

Benennung	Erklärung
Angießkanal	Kanal in einem Spritzgießwerkzeug, der von der Eintrittsstelle der plastifizierten Formmasse in das Spritzgießwerkzeug, ggf. über einen Verteiler, zu dem Anschnitt bzw. den Anschnitten führt.
Anguss	Teil des Spritzlings, der nicht zu dem Formteil bzw. den Formteilen gehört. Die z. B. in einem Heißkanal befindliche Formmasse gilt nicht als Anguss. Die z. B. aus der Düse mit entformte Formmasse (Stangenanguss) gehört dagegen zum Anguss.
Anliegezeit der Düse	Zeit, während der die Düse am Werkzeug anliegt.
Anschnitt	Querschnitt des Angießkanals an der Stelle, wo er in das Formnest mündet.
Arbeitsvermögen	Rechnerisches Hubvolumen in $\text{cm}^3$ , bezogen auf einen Einspritzdruck von 1000 bar. Neben der Schließkraft Bestandteil der internationalen Größenangabe für Spritzgießmaschinen (s. EUROMAP 1 „Beschreibung von Spritzgießmaschinen“).
Auftreibkraft	Resultiert aus dem Innendruck im Werkzeug und der wirksamen Fläche.
Ausstoßbereich	Schneckenkanal zwischen Plastifizierbereich und ausstoßseitigem Ende der Schnecken.
Auswerfer	Vorrichtung zum Ablösen des Formteils von der Werkzeugwand und gegebenenfalls zum Auswerfen des Formteils aus dem geöffneten Werkzeug.
Auswerferfreistellen	Bei mechanischem Auswerfer Bewegung der Werkzeugaufspannplatte mit begrenztem Hub; ermöglicht das Rückholen des Ausdrückmechanismus des Werkzeugs.
Auswerferkraft	Kraft, die auf den Auswerfer ausgeübt werden kann.
Auswerferrückzugskraft	Kraft, die zum Zurückholen des Auswerfers aufgebracht werden kann.
Auswerferweg	Weg des Auswerfers beim Entformen.
Auswerferweg, maximaler	Bei mechanischem Auswerfer kleiner oder höchstens gleich dem Öffnungsweg. Bei hydraulischen und pneumatischem Auswerfer gleich dem Kolbenhub.
Automatischer Betrieb	Nach automatischem Ablauf eines Zyklus wird der Folgende selbsttätig eingeleitet.
Bindenaht	Zusammenfließstelle von Teilströmen der Schmelze.
Dosierstellung	Stellung des Spritzkolbens bei Ende der Dosierzeit (s. Bild 5.2).

## Auszug aus DIN 24450 (Fortsetzung)

Benennung	Erklärung
Dosierweg	Gesamthub des Spritzkolbens bei Ende Dosierzeit (s. Bild 5.2) Der maximale Dosierweg ist der konstruktiv begrenzte Spritzkolbenhub (s. Bild 5.2).
Dosierzeit	Zeit in der der Spritz- bzw. Schneckenkolben den Dosierweg von vorn nach hinten durchläuft und Formmasse in den frei werdenden Raum eingefüllt wird.
Düse	Maschinenteil mit üblicherweise sich verengendem Kanal zwischen Zylinder einer Spritzgießmaschine und Werkzeug.
Düsenabhebung, verzögerte	Über das Ende der Dosierzeit hinaus verlängertes Anliegen der Düse am Werkzeug.
Düsenanpresskraft	Kraft, mit der die Düse gegen das Werkzeug gedrückt wird.
Düsenbohrungsdurchmesser	Austrittsseitiger Durchmesser der Düsenbohrung.
Düseneintauchtiefe	Eintauchtiefe der Düse in das Werkzeug.
Düsenradius	Kugelradius bei Düsen mit kugeliger Anlagefläche.
Düsenweg	Weg der Spritzeinheit beim Anlegen und Abheben der Düse. Der maximale Düsenweg ist der konstruktiv begrenzte Hub der Spritzeinheit.
Durchsatz	Menge der je Zeiteinheit durchgesetzten Formmasse. Einheiten: kg/h, l/h, Stück/h usw.
Einfüllbereich	Schneckenkanal unter und in der Nähe der Einfüllöffnung.
Einspritzdruck	Druck, der während der Einspritzzeit vom Spritz- bzw. Schneckenkolben auf die Formmasse ausgeübt wird.
Einspritzleistung, verfügbare	Leistung, die zum Einspritzen der Formmasse aus dem Spritzzylinder in das Werkzeug zur Verfügung steht (s. EUROMAP 4) „Ermittlung der verfügbaren Einspritzleistung von Spritzgießmaschinen“).
Einspritzstrom	Masse des Spritzlings geteilt durch die Einspritzzeit (s. EUROMAP 5 „Verfahren zur Ermittlung wesentlicher Produktionsdaten einer Spritzgießmaschine“).
Einspritzweg	Weg, den der Spritz- bzw. Schneckenkolben während der Einspritzzeit durchläuft (s. Bild 5.2).
Einspritzzeit	Zeit, die benötigt wird, um den Angießkanal und die Werkzeughöh- lung vollständig mit plastifizierter Formmasse zu füllen. Beginn und besonders das Ende der Einspritzzeit sind an Spritzgieß- maschinen des derzeitigen Standes nicht exakt erkennbar. Aus die- sem Grund wird zur Messung der Einspritzzeit folgende Näherungs- richtlinie gegeben:

## Auszug aus DIN 24450 (Fortsetzung)

Benennung	Erklärung
Einspritzzeit	<p>Die Einspritzzeit beginnt mit dem Kommando, das den Einspritzvorgang auslöst. Das Ende der Einspritzzeit liegt bei einer sichtbaren Verzögerung der Kolbenvorlaufbewegung, sofern diese mit der vollständigen Füllung der Werkzeughöhhlung durch plastifizierte Formmasse zusammenhängt. Bei Maschinen wird das Schaltkommando als Ende der Einspritzzeit angesehen, sofern es mit der vollständigen Füllung der Werkzeughöhhlung durch plastifizierte Formmasse zusammenhängt.</p> <p>Der Begriff Spritzzeit wird als irreführend beurteilt (Verwechslung sowohl mit Zykluszeit als auch Einspritzzeit) und sollte in der Fachsprache des Spritzgießers nicht verwendet werden.</p> <p>Die Definition gilt auch für Heißkanalwerkzeuge.</p>
Endstellung, hintere	Konstruktiv bedingte hintere Begrenzung des Spritzkolbenhubes (s. Bild 5.2).
Endstellung, vordere	Konstruktiv bedingte vordere Begrenzung des Spritzkolbenhubes (s. Bild 5.2).
Entgasungsöffnung	Öffnung im Zylinder zum Entfernen flüchtiger Bestandteile aus der Formmasse.
Fließlinie	Markierung an der Oberfläche von Formteilen. Sie entsteht z. B. durch Verunreinigungen oder Beschädigungen in der Düse oder durch Inhomogenitäten in der Schmelze.
Formmasse	<p>Ungeformte Erzeugnisse, die unter Einwirkung mechanischer Kräfte innerhalb eines bestimmten Temperaturbereichs durch Formung bleibend zu Formteilen oder Halbzeug geformt werden können.</p> <p>Formmassen werden z. T. vorgeformt (z. B. tablettiert oder granuliert) verarbeitet, ohne dass ihre plastische Formbarkeit durch die Vorformung wesentlich beeinträchtigt wird. Soweit es für den Zweck erforderlich ist, ist von vorgeformter Masse als solcher zuzusprechen.</p> <p>Aus DIN 7708 Teil 1, Ausgabe April 1965x.</p>
Formnest	Hohlraum im Werkzeug, durch den ein Formteil geformt wird.
Formteil	Durch diskontinuierliches Formen erzeugtes Fertigteil.
Gangbreite	Abstand zwischen den Flanken eines Ganges (einer Schnecke), am Stegmantel gemessen (s. Bild 5.1).
Ganggrund	Schneckenoberfläche mit dem Kerndurchmesser im Bereich einer Steigung (s. Bild 5.1).
Gangtiefe	Hälfte der Differenz zwischen Schneckendurchmesser und Kerndurchmesser (s. Bild 5.1).
Gangtiefenverhältnis	Verhältnis der Gangtiefen von zwei definierten Stellen der Schnecke.
Gangzahl	Anzahl der in einer Ebene senkrecht zur Schneckenachse angeschnittener Gänge bzw. Stege.

## Auszug aus DIN 24450 (Fortsetzung)

Benennung	Erklärung
Halbautomatischer Betrieb	Nach automatischem Ablauf eines Zyklus wird der Folgende nicht selbsttätig eingeleitet, sondern muss von Hand ausgelöst werden.
Handbetrieb	Im Ablauf eines Zyklus müssen einzelne Arbeitsgänge von Hand eingeleitet oder ausgeführt werden.
Hinter, hinten, rückwärts	Im Bereich der Spritzeinheit werden die Begriffe vor, vorn, vorwärts (analog: hinter, hinten, rückwärts) durch die Bewegung des Spritz- bzw. Schneckenkolbens bestimmt. Während der Einspritzzeit bewegt sich der Kolben von hinten nach vorne.
Hubvolumen	Produkt aus Dosierweg und wirksamer Querschnittfläche des Spritzkolbens.
Kanaltiefe	(s. Schneckenkanaltiefe) (s. Bild 5.1)
Kanaltiefenverhältnis	Verhältnis der Kanaltiefen von zwei definierten Stellen einer Schnecke.
Kerndurchmesser	Im Ganggrund einer Schnecke gemessener Durchmesser (s. Bild 5.1).
Kernzugeinrichtung	Vorrichtung, die im Zyklus der Maschine Werkzeugteile bewegt.
Kompressionsverhältnis	Verhältnis der Gangvolumen an zwei verschiedenen, definierten Stellen einer Schnecke.
Kühlzeit	Beginnt mit der Einspritzzeit und endet mit dem Kommando „Werkzeug öffnen“.
Lichter Säulenabstand	Lichter Abstand der Säulen der Schließereinheit einer Spritzgießmaschine. Gemessen werden der lichte Abstand der Säulen, die am weitesten voneinander liegen, die am engsten zusammen liegen und der lichte diagonale Säulenabstand (s. EUROMAP 3 „Bemäßung der Schließereinheit einer Spritzgießmaschine“).
Massedruck	Druck der Formmasse an einer definierten Stelle im Zylinder bzw. Werkzeug.
Massepolster	Bestimmtes Massevolumen, das sich nach Ende Einspritzzeit vor dem Spritzkolben befindet. Das Massepolster verändert sich in der Regel während der Nachdruckzeit (z. B. durch Volumenkontraktion der plastifizierten Formmasse im Werkzeug, infolge Rückströmens in die Schneckengänge usw.). Jedem Massepolster entspricht eine bestimmte Stellung des Spritzkolbens. Das Massepolster wird Null, wenn sich der Spritzkolben in vorderster Stellung befindet.
Massetemperatur	Temperatur der Formmasse an einer definierten Stelle, z. B. im Mischer, im Trichter, im Zylinder, im Werkzeug, im Extrudat.
Nachdruck	Druck, der während der Nachdruckzeit vom Spritzkolben auf das Massepolster wirkt, um die Volumenkontraktion der Formmasse im Werkzeug auszugleichen.

## Auszug aus DIN 24450 (Fortsetzung)

Benennung	Erklärung
Nachdruck	<i>Dieser Druck ist zu unterscheiden von dem Druck, der auf die erstarrende Formmasse in der Werkzeughöhllung wirkt. Einflüsse durch Druckverluste, vorzeitig eingefrorenen Anguss, elastische Verformungen vom Werkzeug und Schließenheit u. Ä. bleiben unberücksichtigt.</i>
Nachdruckstellung	Stellung des Spritzkolbens bei Beginn der Nachdruckzeit (s. Bild 5.2).
Nachdruckweg	Wird vom Spritzkolben während der Nachdruckzeit durchlaufen (s. Bild 5.2).
Nachdruckzeit	Zeit, während der der Nachdruck wirkt. Sie beginnt bei Ende Einspritzzeit und endet mit dem Kommando, das den Nachdruck abschaltet. <i>Notwendige Voraussetzung dafür ist, dass das Massepolster nicht Null wird. Für die Definition der Nachdruckzeit ist der zeitliche Verlauf sowohl der Spritzkolbenkraft als auch des Druckes in der plastifizierten Formmasse während der Nachdruckzeit unbedeutend.</i>
Öffnungsweg	Weg, um den sich die Werkzeugaufspannplatten zum Entformen voneinander entfernen.
Öffnungszeit	Zeit, in welcher der Öffnungsweg durchlaufen wird. <i>Die Öffnungszeit beginnt mit dem Steuerkommando, welches den Öffnungsvorgang einleitet. Sie endet, wenn die jeweilige Endstellung der Werkzeugaufspannplatten in Öffnungsrichtung erreicht.</i>
Pausenzeit	Zeit vom Ende der Werkzeugöffnungsbewegung bis zum Beginn der Werkzeugschließbewegung. <i>Während der Pausenzeit können Arbeitsgänge und Maschinenbewegungen ablaufen (z. B. Entformen, Auswerfer freistellen, Einlegeteile einbringen).</i>
Plastifizierbeginn, verzögerter	Verfahrenstechnische Variante, bei der nach Beendigung der Nachdruckzeit das Plastifizieren nicht sofort beginnt.
Plastifizierbereich	Bereich des Schneckenkanals, in dem die Masse plastifiziert wird.
Plastifizieren	Überführen einer Formmasse in einen hinreichend fließfähigen Zustand.
Plastifizierstrom	Masse des Spritzlings, geteilt durch die Dosierzeit (s. EUROMAP 5 „Verfahren zur Ermittlung wesentlicher Produktionsdaten einer Spritzgießmaschine“).
Prägeweg	Weg, um den die Werkzeughälften oder Teile derselben nach vollständiger oder teilweiser Füllung der Werkzeughöhllung aufeinander zu bewegt werden.
Pulsation	Mehr oder weniger regelmäßige Schwankung des Durchsatzes.
Resthub	Differenz zwischen Stellung Restmassepolster und vorderster Endstellung (s. Bild 5.2).

Auszug aus DIN 24450 (Fortsetzung)

Benennung	Erklärung
Restmassepolster	<p>Massepolster bei Ende Nachdruckzeit.</p> <p><i>Jedem Restmassepolster entspricht eine bestimmte Stellung des Spritzkolbens: Stellung Restmassepolster. Das Restmassepolster ist Null, wenn sich der Spritzkolben in vorderer Endstellung befindet.</i></p>
Rückströmsperre	<p>Konstruktionselement am vorderen Teil der Schnecke, welches das Rückströmen plastifizierter Formmasse beim Einspritzen verhindert.</p>
Säulen	<p>Bauteile an Maschinen zum Verarbeiten von Kunststoffen, welche vorwiegend auf Zug beansprucht werden und andere Bauteile führen können.</p> <p><i>Die Werkzeugaufspannplatten werden z. B. häufig durch Säulen geführt. Diese Säulen werden oft als Holme bezeichnet, was im Hinblick auf einheitliche Fachsprache vermieden werden soll.</i></p>
Schließeinheit	<p>Die Schließeinheit nimmt das Werkzeug auf, sie dient im Wesentlichen zum Öffnen, Schließen und Zuhalten des Werkzeug. Die Hauptbestandteile sind Säulen (Bemerkung: nicht bei säulenlosen Schließeinheiten), Werkzeug-Aufspannplatten, und Einrichtungen zum Öffnen, Schließen und Zuhalten.</p>
Schließeinheit, bewegliche	<p>Man unterscheidet pendelnde und drehende Bewegung der Schließeinheiten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pendelnde Schließeinheiten umfassen gradlinig bewegliche mit vertikaler, horizontaler oder schräger Bewegung sowie um eine horizontale oder vertikale Achse schwenkbare Schließeinheiten.</li> <li>– Drehende Schließeinheiten unterscheiden sich in der Lage der Drehachse. Man unterscheidet Drehtischmaschinen (vertikale Achse) und Revolvermaschinen (horizontale Achse).</li> </ul>
Schließkraft	<p>Summe der Kräfte, die die Säulen nach vollzogenem Schließvorgang beanspruchen.</p> <p>Bemerkung: Bei säulenlosen Schließeinheiten werden diese Kräfte vom Rahmen aufgenommen.</p>
Schließkraft, maximale	<p>Größte von der Maschine erzeugbare Schließkraft.</p> <p>Die maximale Schließkraft wird bei der Spritzgießmaschine mit einem definierten Stahlversuchsblock über die ihr entsprechende Säulendehnung ermittelt (s. EUROMAP 1 „Beschreibung von Spritzgießmaschinen“).</p>
Schließverzögerung	<p>Verringern der Werkzeugschließgeschwindigkeit kurz vor Ende der Schließbewegung.</p>
Schließweg	<p>Weg, um den sich die Werkzeugaufspannplatten zum Schließen des Werkzeugs aufeinander zu bewegen.</p>
Schließzeit	<p>Zeit, in welcher der Schließweg durchlaufen wird.</p> <p><i>Die Schließzeit beginnt mit dem Steuerkommando, welches die Schließbewegung einleitet. Sie endet, wenn die Schließkraft aufgebracht ist.</i></p>

## Auszug aus DIN 24450 (Fortsetzung)

Benennung	Erklärung
Schnecke	Welle mit einem oder mehreren wendelförmigen Stegen in bestimmten Bereichen, üblicherweise mit einem Schaft an einem Ende und einer Spitze am anderen Ende.
Schneckendurchmesser	Durchmesser des von der drehenden Schnecke gebildeten Stegmantels (s. Bild 5.1).
Schneckengang	Raum im Bereich einer Steigung, begrenzt durch den Ganggrund, die einander zugekehrten Stegflanken und die aus dem Schneckendurchmesser resultierende Mantelfläche (s. auch Gangzahl) (s. Bild 5.1) <i>Der Schneckengang entspricht somit dem Schneckenkanal im Bereich einer Steigung, vermindert um den Raum, der dem Schneckenspiel entspricht.</i>
Schneckengeometrie	Oberbegriff für die Gestalt einer Schnecke. Sie umfasst kennzeichnende Größen: z. B. Durchmesser, Länge, Gangtiefe, Zonenzahl, Steigung usw.
Schneckenkanal	Raum, begrenzt durch Ganggrund, die einander zugekehrten Stegflanken und die Zylinderinnenfläche.
Schneckenkanaltiefe	Summe aus Gangtiefe und Schneckenpalt (s. Bild 5.1).
Schneckenkanalvolumen, gesamtes	Summe der Rauminhalte aller Kanäle vom Eingang bis zum Ausgang der Schnecke.
Schneckenkern	Teil der Schnecke zwischen Schaft und Spitze ohne Stege.
Schneckenlänge, gesamt	Umfasst die Länge einer Schnecke über alles.
Schneckenlänge, wirksame	Abstand zwischen dem ausstoßseitigen Ende der Einfüllöffnung und dem ausstoßseitigen Ende der Schnecke (vorderer Endstellung bei axial verschiebbaren Schnecken).
Schneckenennendurchmesser	Gerundetes Maß des Schneckendurchmessers.
Schneckenprofil	Der im Axialschnitt sichtbare Umriss der Schnecke im Bereich der wendelförmigen Stege (s. Bild 5.1).
Schneckenrückholvorrichtung	Vorrichtung zum Zurückholen der Schnecke. <i>Dient z. B. zum Entspannen der plastifizierten Formmasse.</i>
Schneckenschaft	Dient zur Lagerung und zum Antrieb der Schnecke.
Schneckenpalt	Spalt zwischen Schneckenmantel und Zylinderbohrung.
Schneckenspiel	Differenz zwischen Zylinderinnendurchmesser und Schneckendurchmesser (s. Bild 5.1).
Schnecken spitze	Freies Ende einer Schnecke von verschiedener Gestalt.
Schneckensteg	Erhöhter, wendelförmiger Teil der Schnecke (s. Bild 5.1).

Auszug aus DIN 24450 (Fortsetzung)

Benennung	Erklärung
Schneckenstufe	Verfahrenstechnisch zusammengehörende Schneckenzonen. <i>Man spricht z. B. von einer zweistufigen Entgasungsschnecke.</i>
Schneckenvolumen	Dieser Begriff entspricht bei Berücksichtigung des Schneckenspiels dem Begriff Schneckenkanalvolumen.
Schneckenzone	Abschnitt einer Schnecke, in dem der Schneckengang (Schnecken- gänge) keine Unstetigkeit hat. <i>Es gibt somit Ein- und Mehrzonenschnecken. Bei letzteren unterscheidet man z. B. Einzugszone, Kompressionszone (Dekompressionszone), Entgasungszone, Ausstoßzone, (der Begriff Meteringszone sollte vermieden werden).</i>
Siegelpunkt	Zeitpunkt, zu dem die Formmasse im Angießkanal so weit erstarrt ist, dass kein Fließen mehr stattfindet.
Spritzgießmaschine	Maschine, die aus vorzugsweise makromolekularen (Ergänzung: oder anderen Stoffen) Formmassen diskontinuierlich Formteile herstellt. Das Formen geschieht durch Urformen unter Druck. Ein Teil der in der Spritzgießmaschine plastifizierten Formmasse wird unmittelbar durch den Angießkanal in die Werkzeughöhlung eingespritzt. Die wesentlichen Bestandteile einer Spritzgießmaschine sind Spritzeinheit und Schließeinheit.
Spritzgussteil	Durch Spritzgießen erzeugtes Formteil. Die durch das Verfahren bedingten Anteile des Spritzlings, z. B. der Anguss, gehören nicht zum Spritzgussteil.
Spritzkolbenkraft	Kraft, die während der Einspritz- und Nachdruckzeit vom Antrieb her axial auf den Spritzkolben wirkt.
Spritzling	Die von der Spritzgießmaschine je Zyklus hergestellten Formteile einschließlich des entformten Angusses.
Spritzlingsvolumen	Das Spritzlingsvolumen ist das Volumen eines Spritzlings bei Raumtemperatur. <i>Das Spritzlingsvolumen ist im Allgemeinen kleiner, kann aber auch gleich oder größer als das maximale Hubvolumen sein, z. B. Einspritzen mit drehender Schnecke ohne oder mit axialem Verschieben der Schnecke. Der Begriff „Schussvolumen“ ist irreführend und sollte deshalb vermieden werden.</i>
Spritzprägen	Urformen plastifizierter Formmassen unter Druck, wobei zusätzlich zum Spritzgießen die endgültige Formgebung des Spritzlings durch eine Bewegung der Werkzeughälften oder Teile derselben zueinander bewirkt wird.
Staudruck	In der Formmasse wirkender Druck, gegen den Schnecken während der Dosierzeit fördern. Er wird üblicherweise hydraulisch, mechanisch oder pneumatisch erzeugt. <i>Wird die Werkzeughöhlung mit drehender Schnecke gefüllt oder Nachdruck ausgeübt, dann muss der während den entsprechenden Zeiten</i>

Auszug aus DIN 24450 (Fortsetzung)

Benennung	Erklärung
Staudruck (Fortsetzung)	<p>wirkende Druck mit Einspritzdruck bzw. Nachdruck bezeichnet werden.</p> <p>Bei hydraulisch bzw. pneumatisch verschiebbaren Schnecken wird der Staudruck durch Öl- bzw. Gasdruck erzeugt. In der Praxis wird der Öl- bzw. Gasdruck gemessen und daraus rechnerisch der Staudruck ermittelt. Der tatsächlich in der Formmasse wirkende Druck kann hiervon abweichen.</p>
Stegbreite	Abstand der Stegflanken, üblicherweise am Stegmantel gemessen (s. Bild 5.1).
Stegflanke, hintere	Die dem Eingang der Schnecke zugewandte Flanke des Steges (s. Bild 5.1).
Stegflanke, vordere	Die dem Eingang der Schnecke abgewandte Flanke (treibend Flanke) des Stegs (s. Bild 5.1).
Stegradius	(Vorderer und hinterer) Radius der Ausrundung zwischen Ganggrund und der betreffenden Stegflanke, gemessen in der Ebene senkrecht zur Stegflanke (s. Bild 5.1), (Schnitt C–D).
Steigung	Axialer Abstand einer Windung ein und desselben Schneckenstegs, gemessen an der gleichen Kante (s. Bild 5.1).
Steigungswinkel	<p>Winkel zwischen Tangente an einer der äußeren Stegflanken und der zur Schneckenachse senkrechten Ebene (s. Bild 5.1).</p> <p>Der Steigungswinkel kann sich im Bereich einer Steigung ändern.</p>
Stellung Restmassepolster	<p>Stellung des Spritzkolbens bei Ende der Nachdruckzeit (s. Bild 5.2)</p> <p><i>Diese Stellung entspricht dem Restmassepolster (vgl. kursiv: Restmassepolster).</i></p>
Teilungslinien	Markierungslinien am Formteil, die durch Fügestellen im Werkzeug oder die Werkzeuggrenzfläche hervorgerufen werden.
Temperierzone	<p>Abschnitt mit einem oder mehreren Heiz- und /oder Kühlelementen, die zu einem Regelkreis gehören.</p> <p><i>Die Temperierzonen des Zylinders werden vom Einfülltrichterausgehend fortlaufend nummeriert.</i></p>
Trockenlaufzeit	Maß für Grundschnelligkeit der Maschine. Sie umfasst alle Arbeitsgänge eines Zyklus außer Plastifizieren, Werkzeugfüllen und Abkühlen des Formteils (s. EUROMAP 6 „Ermittlung der Trockenlaufzeit von Spritzgießmaschinen“).
Umschaltstellung	<p>Stellung des Spritzkolbens, bei der der Einspritzdruck in einer Stufe verändert wird (s. Bild 5.2).</p> <p><i>Umschaltstellung und Nachdruckstellung können übereinstimmen. Im Gegensatz zur Nachdruckstellung kann die Umschaltstellung nach dem Stand der Technik z. B. weg- oder zeitabhängig festgelegt werden (s. Einspritzzeit)</i></p>

## Auszug aus DIN 24450 (Fortsetzung)

Benennung	Erklärung
Verschlussdüse	Düse mit verschließbarem Kanal.
Vor, vorn, vorwärts	s. hinter, hinten, rückwärts.
Werkzeug	Dient zum diskontinuierlichen Formen der Formmasse.
Werkzeugatmung	Vergrößerung der Werkzeughöhlung, hervorgerufen durch die Auftriebkraft.
Werkzeugaufspannplatten	Nehmen die Werkzeughälften auf. In der Regel führt eine Werkzeugaufspannplatte die Schließbewegung aus.
Werkzeugeinbauhöhe, maximale	Konstruktiv bedingter größter Abstand der Werkzeugaufspannplatten in Schließstellung, d. h. beim Öffnungsweg Null.
Werkzeugeinbauhöhe, minimale	Konstruktiv bedingter kleinster Abstand der Werkzeugaufspannplatten.
Werkzeugeinsätze	Austauschbare Teile eines Werkzeugs. Man unterscheidet: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Werkzeugeinsätze mit formgebenden Funktionen, z. B. für Gewinde und Gravuren,</li> <li>– Werkzeugeinsätze mit verfahrenstechnischen Funktionen, z. B. Quetschkanten.</li> </ul>
Werkzeughöhlung	Summe der Formnestvolumina.
Werkzeuginnendruck	Druck, unter dem die Formmasse in der Werkzeughöhlung steht.
Werkzeugöffnungskraft, maximale	Kraft, die von der Maschine zum Öffnen des Werkzeugs aufgebracht werden kann.
Werkzeugsicherung	Einrichtung, welche das Aufbringen der Schließkraft verhindert, wenn Beschädigungsgefahr für das Werkzeug besteht, z. B. durch nicht entfernten Spritzling.
Werkzeugtrennfläche	Berührungsfläche der zueinander bewegten Werkzeuteile, die durch die Schließkraft aufeinander gepresst werden.
Werkzeugzentrierbohrung	Üblicherweise zylindrische Bohrung in den Werkzeugaufspannplatten zum Zentrieren des Werkzeugs.
Zuführöffnung	Öffnung im Zylinder für das Zuführen von festen, flüssigen oder gasförmigen Zusatzstoffen.
Zuhaltekraft	Summe der Kräfte, die die Säulen oder Rahmen der Schließeinheit beim Herstellen des Formteils beanspruchen. <i>Sie ist die Summe der Kräfte, die die Säulen (oder den Rahmen) beim Einspritzen in das Werkzeug beanspruchen. Ihr entspricht eine Säulendehnung (oder Rahmenweitung). Die beim Einspritzen wirkende Zuhaltekraft hängt von der Steifigkeit der Maschine und des Werkzeugs ab.</i>
Zyklus	Umfasst alle zum Herstellen eines Formteils erforderlichen Arbeitsgänge. <i>„Zyklus“ und „Zykluszeit“ sind so auch für die Vorgänge an Maschinen mit mehreren Werkzeugstationen definiert.</i>

Auszug aus DIN 24450 (Fortsetzung)

Benennung	Erklärung
Zykluszeit	Diejenige Zeit, während der sich der periodisch wiederholende Fertigungsablauf (Zyklus) vollzieht. <i>Der Beginn der Zykluszeit ist demzufolge beliebig wählbar. Die Zykluszeit ist häufig ein Mittelwert aus einer längeren Fertigungsdauer, die ein Vielfaches der Zykluszeit beträgt. Die Zykluszeit ist sowohl für den automatischen und halbautomatischen Betrieb als auch für den Handbetrieb einer Maschine definiert.</i>
Zylinder	Gehäuse, das eine oder mehrere Schnecken bzw. Kolben mantelförmig umhüllt.
Zylinderkopf	Bauteil, welches den Zylinder vorne abschließt und meistens die Düse aufnimmt.

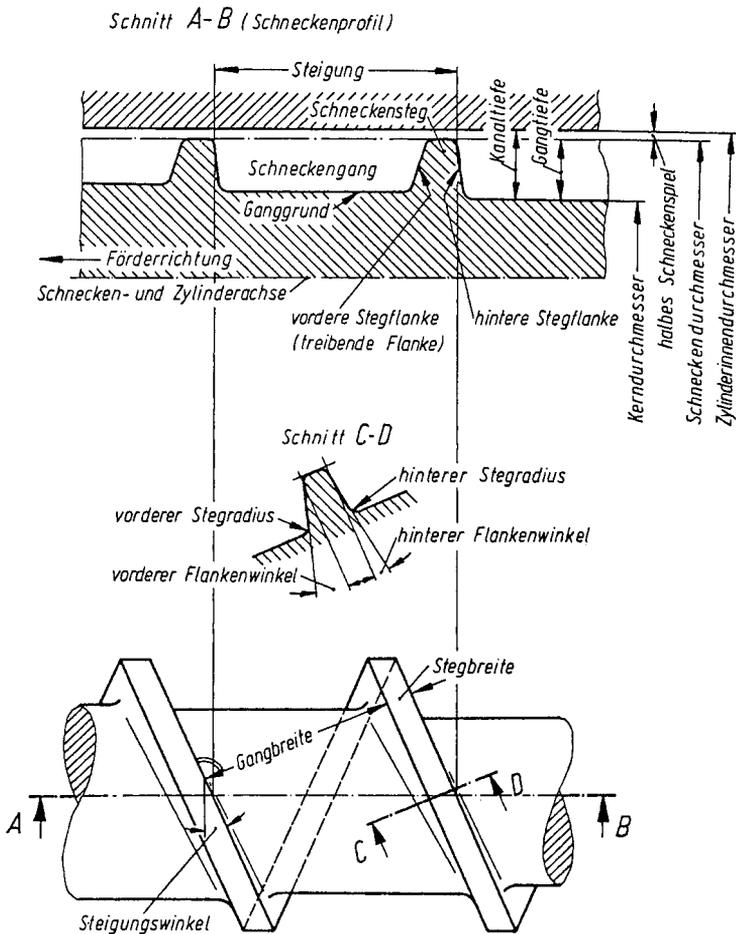


Bild 5.1 Begriffe zur Schneckenengeometrie (DIN 24450)

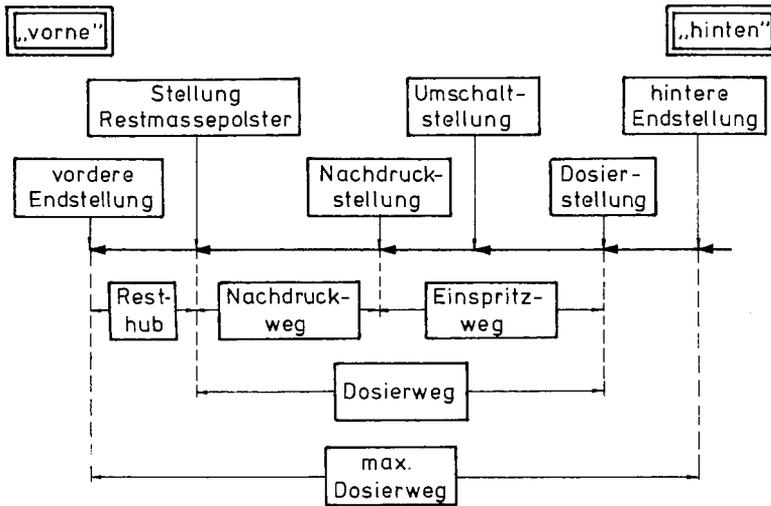


Bild 5.2 Begriffe zur Spritzeinheit einer Spritzgießmaschine (DIN 24450)

### 5.1.3 Prozessgrößen

In [3] wird eine ausführliche Übersicht über Prozessgrößen gegeben. Diese zeigt, dass die in DIN 24450 gesammelten Begriffe nicht ausreichen, um den Spritzgießprozess vollständig beschreiben zu können. Solche ergänzenden Begriffe werden hier nach dem gleichen Schema wie oben in Ergänzung zu den genormten Begriffen in Anlehnung an [3] wiedergegeben.

Dehnung des Werkzeugs	da sie negativ ist, spricht man auch von Stauchung. Es ist die Deformation am Werkzeug durch Druck-, Biege- oder Zugkräfte.
Düsentemperatur	Temperatur der Düse und der Zylindertemperatur entsprechend eingestellt und gemessen (Maschineneinstellgröße).
Eigenspannungen	Sie entstehen im Formteil durch unterschiedliche Abkühlgeschwindigkeiten. Dafür maßgeblich können Unterschiede in der Werkzeugtemperatur oder die Geometrie der Formteile sein.
Eingestellte Einspritzzeit	Zeitraum nach Start des Einspritzsignals bis zur Auslösung des Umschaltsignals (Maschineneinstellgröße).
Entformungstemperatur	Temperatur des Formteils zur Zeit der Entformung, wegen des Temperaturgefälles mittelt man diese Temperatur (mittlere Entformungstemperatur) oder man ermittelt die Entformungstemperatur in Formteilmittelpunkt.
Fließfrontgeschwindigkeit	Geschwindigkeit der Schmelzefront, ermittelt in der Werkzeughöhle.
Werkzeugfüllzeit	besser: Einspritzzeit.

Hydraulikdruck	Druck, gemessen im Hydraulikzylinder des Einspritzkolbens.
Öltemperatur	Temperatur des Hydrauliköls im Vorratsbehälter der Spritzgießmaschine.
Orientierung	Orientierung nennt man das Entstehen von einer oder von mehreren Vorzugsrichtungen der Kettenmoleküle. Orientierungen können sich ganz oder teilweise zurückstellen, wenn über die Einfriertemperatur hinaus erwärmt wird. Unterschiede in den Orientierungen können zu Eigenspannungen im Formteil führen.
Säulendehnung	Dehnung der Säulen beim Wirken der Schließkraft oder der Zuhaltkraft. Die maximal zulässige Säulendehnung ist eine Maschinenkenngröße und darf wegen Bruchgefahr nicht überschritten werden.
Schneckenvorlaufgeschwindigkeit	Wird gleichgesetzt mit Einspritzgeschwindigkeit, ist jedoch nicht gleichzusetzen mit der Fließfrontgeschwindigkeit.
Schneckenweg	Weg (Hub) der Schnecke bei verschiedenen Arbeitsgängen, maximaler Schneckenweg ist konstruktiv vorgegeben, maximal nutzbarer Schneckenweg (-hub) unterscheidet sich anwendungsbedingt (etwa 3 D) und von Kunststoff zu Kunststoff.
Schwindung	Unter Schwindung versteht man die Volumen- oder auch Maßdifferenz zwischen dem formgebenden Werkzeughohlraum und dem Formteil. Verarbeitungsschwindung bezieht sich auf Volumen- oder Abmaßabweichung zum Zeitpunkt der Entformung. Nachschwindung umfasst auch die Volumen- oder Maßänderungen bis zum Erreichen der Umgebungsbedingungen. Längenschwindung, Breitenschwindung und Dickenschwindung beziehen sich auf die entsprechenden Abmaße.
Siegelzeit	Sie beginnt mit dem Einspritzsignal und endet, wenn die Formmasse in Angusskanal bzw. im Anschnitt so weit erstarrt ist, dass kein Fließen mehr stattfindet.
Standzeit	Beginnt mit dem Ende der Nachdruckzeit und endet mit dem Signal „Werkzeug öffnen“ (Maschineneinstellgröße).
Stationärer Betrieb	Der Spritzgießprozess befindet sich im thermischen und zeitlichen Gleichgewicht.
Temperiermitteltemperatur	Temperatur des Temperiermediums (Wasser, Öl, Sole) beim Eintritt in das Werkzeug. Eine Größe mit gleicher Bezeichnung wird am Temperiergerät eingestellt (Geräteinstellgröße). Bis zum Eintritt ins Werkzeug können Abweichungen auftreten.
Trockenlaufzahl	Zahl der Zyklen im Trockenlauf je Minute.
Umschaltzeit	Zeit nach Einspritzsignal, nach der das Druckniveau in der Hydraulik auf eine andere Druckstufe umgeschaltet wird.
Umschaltdruck	Man unterscheidet: Umschaltdruck in der Hydraulik (Einspritzkolben) und Umschaltdruck in der Werkzeughöhlung, bei dem das Umschalten auf Nachdruck (oder andere Druckstufe) erfolgt.

Volumetrische Füllung	Sie ist erreicht, wenn die Schmelze die Luft aus der Werkzeughöh- lung vollständig (über 99 %) verdrängt hat.
Werkzeugdruckzeit	Zeit, während der Nachdruck an einer Messstelle im Werkzeug wirkt.
Werkzeugwand- temperatur	Temperatur (-verlauf) wird während des Spritzgießzyklus an ver- schiedenen Stellen der Oberfläche der Kavität gemessen.
Zylindertemperatur	Temperatur, die an den entsprechenden Reglern eingestellt wird (=Zylinder-Solltemperatur, Maschineneinstellgröße). Häufig wird auch zusätzlich die gemessene Zylinder-Ist-Temperatur angegeben; falsch ist die Bezeichnung Massetemperatur dafür.

### 5.1.4 Begriffe und erklärende Beschreibung zum Recycling (siehe DIN-Entwurf)

Agglomerat	Agglomerat ist das Ergebnis der Zerkleinerung und teilweisen Plasti- fizierung von Kunststoffen und besteht aus zusammenhaftenden Par- tikeln.
Mahlgut	Mahlgut ist das Ergebnis der Zerkleinerung von Kunststoff und be- steht aus rieselfähigen Partikeln.
Recycling (Werk- stoffliches Recycling)	Werkstoffliches Recycling ist die stoffliche Verwertung von Kunst- stoff-Produkten nach ihrem Gebrauch sowie von Rückständen aus dem Bereich der Kunststoffherzeugung, -verarbeitung und -anwen- dung mit dem Ziel, neue Produkte herzustellen.
Rezyklat	Rezyklat ist ein wiederverwerteter Kunststoff mit spezifizierbaren Ei- genschaften. Im Sinne dieser Norm ist Rezyklat der Oberbegriff für: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Mahlgut (s. dort),</li> <li>– Agglomerat (s. dort),</li> <li>– Regranulat (s. dort),</li> <li>– Regenerat (s. dort).</li> </ul>
Regenerat	Regenerat ist eine Formmasse, die aus Mahlgut, Agglomerat oder Regranulat unter Zugabe von Zusatzstoffen zur gezielten Eigen- schäftsverbesserung gewonnen wird.
Regranulat	Regranulat ist eine Formmasse, die durch Schmelzprozess aus Mahl- gut, Agglomerat oder unmittelbar aus Formteilen aus Granulat ge- wonnen wird.
Reinheit (von Rezyklat)	Die Reinheit von Rezyklat wird unterschieden in: <ul style="list-style-type: none"> <li>– typenrein,</li> <li>– sortenrein,</li> <li>– sortenähnlich,</li> <li>– verträglich.</li> <li>– vermischt,</li> <li>– verunreinigt.</li> </ul>

sortenähnlich	Ein Rezyklat ist sortenähnlich, wenn es Kunststoffsorten enthält, deren Grundpolymere mit dem Kurzzeichen nach DIN ISO 1043 Teil 1 übereinstimmen, die jedoch in den Kennbuchstaben nach DIN ISO 1043, Teil 2 bis 4, voneinander abweichen.
sortenrein	Ein Rezyklat ist sortenrein, wenn es aus einem Kunststoff mit gleicher Bezeichnung nach DIN ISO 1043, Teil 1 bis 4 besteht.
Typenrein	Ein Rezyklat ist typenrein, wenn es aus einem Kunststoff des jeweiligen Herstellers besteht und nur eine Handelsbezeichnung hat.
Vermischt	Ein Rezyklat ist vermischt, wenn es aus verschiedenen Kunststoffen, mit unterschiedlicher Bezeichnung nach DIN ISO 1043, Teil 1 besteht.
Verträglich	Ein Rezyklat wird als verträglich bezeichnet, wenn es Kunststoffe enthält, die alle miteinander verträglich oder teilverträglich sind.
Verunreinigt	Ein Rezyklat ist verunreinigt, wenn es aus dem vorangegangenen Gebrauch Stoffe enthält, welche die Verarbeitung oder die Gebrauchstauglichkeit des daraus hergestellten Produkts beeinträchtigen.

## 5.2 Prozessverlauf

Beim Spritzgießen werden in seinem vom Ursprung her bekannten Verfahrensablauf Schmelzen von Thermoplasten, Duroplasten oder Kautschuk in einen formgebenden Hohlraum eingespritzt, dort verdichtet, abgekühlt oder zur Reaktion gebracht, um sie dann als Formteil aus dem verwendeten Werkzeug auszuwerfen.

Es gibt beim Spritzgießen eine Fülle von Prozessvarianten, wie das Umspritzen von eingelegten Teilen, das Erzeugen von Hohlräumen in Spritzgussteilen, das Spritzgießen von Schaumteilen und Arbeiten mit veränderbaren Hohlräumen während des Spritzgießens und andere. Die Sonderverfahren werden in den speziellen Kapiteln auch vom Ablauf her beschrieben (siehe Kapitel 6). Sie verlangen oft eine spezielle Führung des Prozesses.

Der Spritzgießprozess nutzt in geradezu idealer Weise das besondere physikalische Verhalten der Kunststoffe. In einem relativ einfachen Prozess werden durch Erwärmen und der dann folgenden Formgebung im Schmelzezustand und anschließender Abkühlung häufig direkt gebrauchsfertige Formteile hergestellt. Im Zentrum eines Arbeitsplatzes steht eine Formgebungseinheit, bestehend aus dem Spritzgießwerkzeug und der Spritzgießmaschine. Rein funktionell ist schon seit 1872 das Aufschmelzen von Kunststoffen unter Einwirkung von Wärme in einem Zylinder-Kolbensystem und die Überführung der Schmelze unter teilweise sehr hohen Drücken in eine formgebende gekühlte Werkzeughöhle für dieses Verfahren bekannt. Nach der Abkühlung kann das Formteil noch mit einer gewissen Restwärme entformt werden. Den periodisch wiederkehrenden Vorgang nennt man Zyklus.

Die Spritzgießmaschine wird durch den Trichter auf der Spritzeinheit befüllt. Die gut rieselfähigen Formmassen fallen direkt in die Gänge einer Schnecke, die sich dreht.

Dabei fördert sie die Formmassen durch die von außen beheizte Zylinderzonen. Die Formmassen werden durch Konvektion (Wärmeübergang von Zylinderwand zur Formmasse) und durch Scherwärme aufgeschmolzen. An der Schneckenspitze angekommen, sollen sie vollständig in den Schmelzezustand übergegangen sein. Die erreichte Temperaturhomogenität liegt je nach Dosierweg zwischen  $\pm 5$  bis 30 K. Die axiale Inhomogenität ist meist um den Faktor 2 bis 3 größer als die radiale. Die axiale Inhomogenität ist allerdings sehr ausgeprägt vom Dosierweg abhängig. Durch den Fördervorgang baut sich vor der Schnecke ein Druck auf, der Staudruck, der die Schnecke rückwärts schiebt. Um diesen hohen Druck möglichst schnell und gleichmäßig aufbauen zu können, verschließt üblicherweise eine ringförmige Sperre den Schneckenkanal rückwärts, die Rückströmsperre. Nach einem einstellbaren Weg wird die Förderung eingestellt. Vor der Schneckenspitze sammelt sich eine Schmelzmenge, die zum Füllen des Werkzeughohlraums ausreicht. Über eine Düse wird eine Verbindung zur Kavität des in der Schließeinheit mit großer Kraft zugehaltenen Werkzeug hergestellt. Danach kann sofort oder zu einem wählbaren Zeitpunkt das Einspritzen erfolgen. Dazu wird mechanisch oder hydraulisch ein Druck von 140 bis 210 bar auf den Schneckenkolben ausgeübt. Vor der Schnecke wirkt ein Druck (spezifischer Spritzdruck), dem Flächenverhältnis von Hydro-Kolbenfläche und Schneckenkolbenfläche entsprechend. Das Übersetzungsverhältnis liegt etwa zwischen 7 und 15. So erzeugen vernünftig ausgelegte Spritzgießmaschinen vor der Schneckenspitze einen Druck von etwa 1500 bis 2300 bar (10 %).

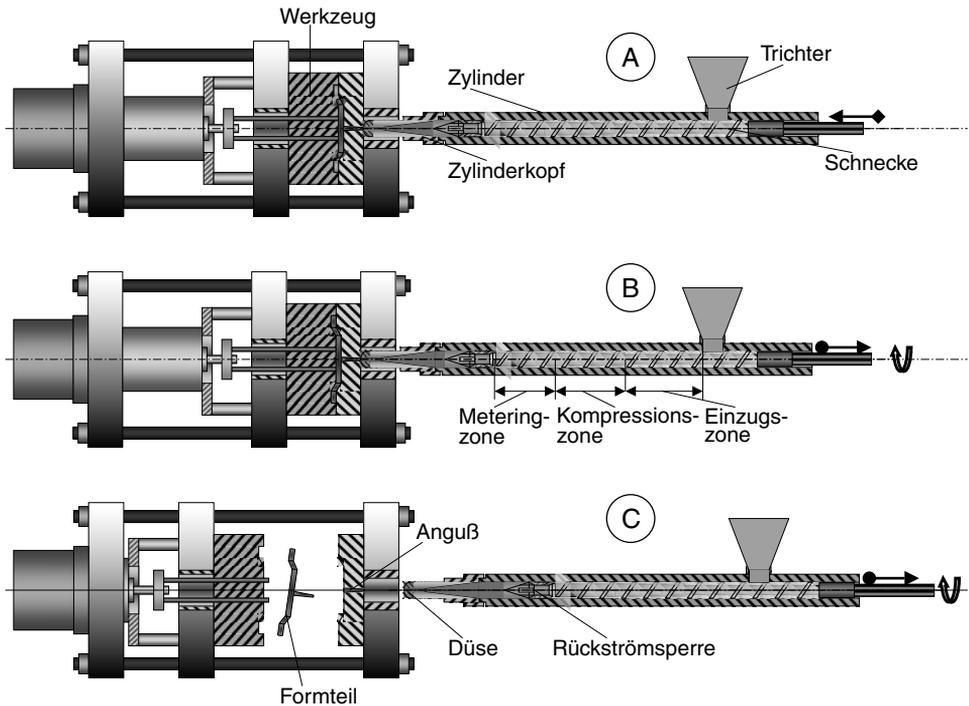
Durch die Erwärmung oberhalb der Glastemperatur, bzw. oberhalb der Kristallit-schmelztemperatur wird die Beweglichkeit der verhakten und verschlauften Makromoleküle möglich. Auch durch das Erzeugen von Scherkräften beim Einspritzen wird das Abgleiten aufeinander teilweise noch erheblich verbessert, sodass man zu einem ausgezeichneten Fließ- und Abbildergebnis kommt.

In der temperierten (gekühlten) Kavität erstarrt die Schmelze (Thermoplaste), härtet aus (Duroplaste) oder vulkanisiert (Kautschuk). Nach einer Kühl- oder Härtezeit (Vulkanisierzeit) kann das Formteil ausgeworfen werden. Dieser Vorgang wiederholt sich periodisch. Früher diente zum Einspritzen ein zylindrischer Kolben. Dieser wird nur noch bei sehr kleinen Schussgewichten verwendet (siehe Abschnitt 7.7.1).

### *Einspritzvorgang*

Die drei wesentlichen Phasen des Standardspritzgießverfahrens sind in Bild 5.3 dargestellt.

In der Phase a liegt die Düse am Werkzeug an. Ein Teil der Schmelze ist bereits eingespritzt. Ein Rest befindet sich noch vor der im Vorwärtshub befindlichen Schnecke. Diese Phase bezeichnet man als die Einspritzphase. Man kontrolliert sie vorzugsweise durch die Steuerung oder Regelung der Schnecken vorlaufgeschwindigkeit. Ein weg- oder zeitabhängiges Signal schaltet bei volumetrischer Füllung der Kavität auf einen druckgeführten Restprozess um, dessen wesentlichen Teil die Nachdruckphase ausmacht. Die Phase b zeigt die Schnecke in vorderster Stellung. Dabei drückt die Schnecke auf ein Restmassespolster vor ihrer Spitze, um Schmelze zum Ausgleich des Volumenschwunds durch die Abkühlung in der Kavität nachzupumpen. Diesen Druck hält man so lange aufrecht, bis die Siegelzeit des Angusses erreicht ist. Als meist engster Fließquerschnitt friert er zuerst ein. Nach dem Siegel-



**Bild 5.3** Drei Phasen im Ablauf des Spritzgießens mit einer Schneckenkolbenmaschine  
a: Einspritzen, b: Plastifizieren, c: Auswerfen [5]

zeitpunkt (Einfrieren, Aushärten) kann keine Schmelze mehr fließen. Dünnwandige Formteile können eher als der Anguss einfrieren.

Die Nachdruckphase muss druckkontrolliert gesteuert oder geregelt werden. Mit Beginn der Schmelzedruckentlastung sind Einspritz- und auch Nachdruckphase beendet. Die Schnecke kann wieder mit dem Dosiervorgang für den nächsten Zyklus beginnen. Bei Verwendung einer offenen Düse bleibt die Düse an der Angussbuchse des Werkzeugs angelegt, da der Staudruck (Förderdruck) der drehenden Schnecke die Schmelze anderenfalls aus der Düse herausdrücken würde. Die Düsenheizung muss so ausgelegt sein, dass die Düse nicht versiegelt. Bei einer Verschlussdüse kann die Spritzeinheit vor Beginn des Dosierens abheben und die druckdichte Verbindung zwischen Düse und Werkzeugangussbuchse aufgegeben werden.

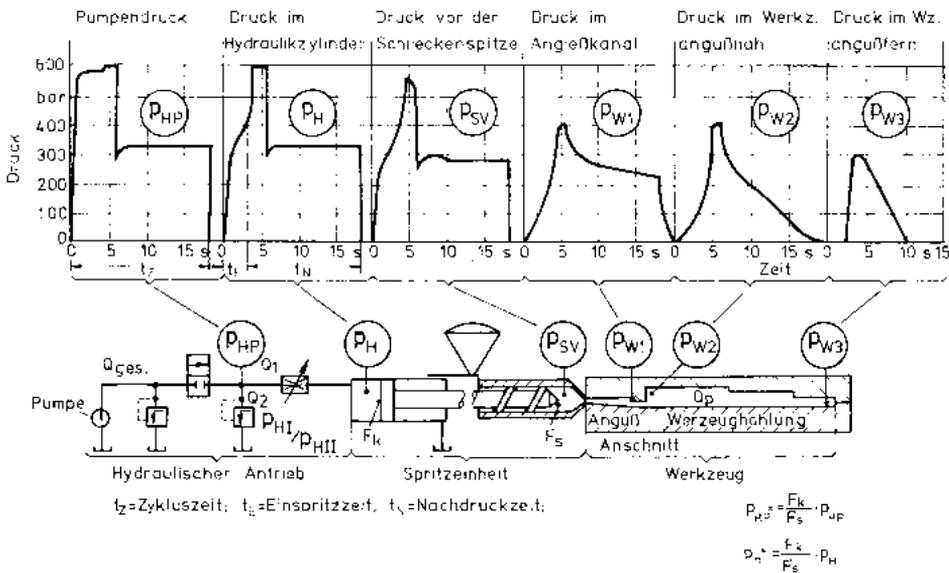
In der Phase c hat die Schnecke die Masse für den nächsten Einspritzvorgang dosiert. Die Schnecke steht in hinterer Dosierstellung. Der Weg wird gemessen und der Dosiervorgang gezielt beendet. Sobald die Kühlzeit (Thermoplaste) oder Aushärte- bzw. die Vulkanisationszeit (Duroplaste bzw. Kautschuk) beendet sind, öffnet die Schließeinheit das Werkzeug. Die Trennung der Werkzeughälften erfordert eine in besonderen Fällen hohe Öffnungskraft. Das Werkzeug wird um einen einstellbaren Weg geöffnet und das Formteil ausgestoßen. Dabei wird, um das Formteil aus der Kavität zu stoßen hydraulisch, elektromechanisch oder vereinzelt pneumatisch ein Auswerfmechanismus in Bewegung gesetzt, der die Ausstoßbewegung durchführt. Die Formteile können herabfallen oder auf dem Auswerfmechanismus verblei-

ben und dann manuell oder durch ein Handhabungsgerät entnommen werden. Nach dem Schließen des Werkzeugs unter hoher Kraft wird der neue Zyklus entsprechend Phase a erneut eingeleitet.

Prozessparameter wie Drücke, Wege und Geschwindigkeiten sind vielfältig steuerbar oder regelbar. Sowohl auf der Schließ- wie auf der Einspritzseite sind verschiedene Wege einstellbar. Die wählbaren Positionen für die Schnecke wurden in Bild 5.2 im Abschnitt 5.1.2 gezeigt (Begriffserklärung siehe Abschnitte 5.1.2 und 5.1.3 ).

*Druckaufbau und Druckübertragung*

Höchste Ansprüche an eine optimale Prozessführung stellt der Druckverlauf im Werkzeug. Ermittelt man die wirkenden Drücke entlang der Prozessstrecke, so stellt man fest, dass der für die Maßhaltigkeit der Formteile entscheidende Druckverlauf im Werkzeug z. B. nicht identisch ist mit Druckverläufen in der antreibenden Hydraulik (Bild 5.4) oder mit der am Schneckenlager gemessenen Kraft [5, 8, 9, 10].



**Bild 5.4** Druckverlauf über der Zeit an verschiedenen Stellen im Spritzgießsystem [1]

In der Hydraulik erzeugt man zunächst zwei deutlich von einander unterschiedene Druckphasen. Den erhöht eingestellten Einspritzdruck und einen reduzierten Nachdruck.

Im Werkzeug kommt der Druck verzögert und reduziert an,  $p_{w1}$  und  $p_{w2}$  in Bild 5.4. Angussfern ist letztlich kaum noch etwas von dem ursprünglich erzeugten Druckverlauf zu erkennen. Schon beim Einspritzen unterscheiden sich die Druckverläufe in der Hydraulik und im Werkzeug nicht nur hinsichtlich der Höhe – auch der zeitliche Verlauf ist verschieden. Kompressibilitäts- und Deformationsverhalten der Schmelze in Abhängigkeit von der Temperatur haben einen großen Einfluss, so das letztlich aus der Schneckenvorlaufgeschwindigkeit nicht auf die Fließfrontgeschwindigkeit geschlossen werden kann.

Nicht gezeigt wird der Druckverlauf im Werkzeug während der Kühlzeit. Der Druck im Werkzeug sinkt mit zunehmender Kühlzeit deutlich. Letztlich fällt der Druck im Werkzeug auf Null, wenn der Anguss erstarrt ist und der Nachdruck der Schnecke nicht mehr ins Werkzeug übertragen werden kann. Bei Beginn des Entformens soll der Druck unbedingt bei Null angelangt sein, damit die letzte Phase der Erstarrung und die Entformung ohne äußeren Druck erfolgt.

Dieses zeigt, dass die Formmasse örtlich unter sehr unterschiedlichen Druckbedingungen erstarrt. Dadurch können Unterschiede bei den inneren Spannungen entstehen. Auch die Masse- und die Werkzeugtemperatur zeigen Inhomogenitäten. Beim Einspritzen und Nachdrücken sind Druck-, Zeit- und Temperaturschwankungen systembedingt vorhanden und interdependent. Einflüsse aus der Umgebung und aus dem Prozess wirken unterschiedlich auf Maschine, Werkzeug und damit auf das Formteil. So zeigen Maschinen und alle Maschinenelemente eine mehr oder weniger ausgeprägte Exemplarstreuung und Hysterese. Davon betroffen sind alle hydraulischen Elemente im Ölstrom, alle Temperaturregler und die Motoren für lineare oder rotatorische Bewegung. Alle Elemente können durch Einflüsse aus der Umgebung beeinträchtigt werden. Dadurch wird es unmöglich, Werkzeuge von einer Maschine auf eine wenn auch scheinbar gleiche andere zu wechseln, ohne die wirksamen Prozessparameter zu messen, wenn hohe Anforderungen an die Qualitätskonstanz gestellt werden. Das Spritzgießen hat wie die meisten anderen Prozesse, die thermisch oder rheologisch instationär sind, mit erheblichen Inhomogenitäten zu kämpfen. Spritzgießer müssen einen erheblichen Aufwand betreiben, um Druck- und Temperaturschwankungen klein zu halten. Den Druckverlauf im Werkzeug kann man so beeinflussen, dass eine optimale Ausformung und ein ausreichend niedriges Eigenspannungsniveau erreicht wird. Mit Hilfe der messtechnischen Kontrolle des Werkzeuginnendruckverlaufs gelingt auch die Reproduzierung der Formteilqualität auf verschiedenen Maschinen. Dabei sind die Maschinen mit elektromechanischem Antrieb meist leicht im Vorteil, da sie nicht von der ÖlkompRESSibilität und von Hysterese betroffen sind.

### *Zyklusablauf*

Bild 5.5 veranschaulicht das zeitliche Zusammenspiel der Funktionen einer Spritzgießmaschine bei einem Standardzyklus.

Der obere Teil von Bild 5.5 bezieht sich auf den Ablauf der Arbeitsfunktionen der Schließeinheit. In diesem Fall schließt ein Hydraulikkolben das Werkzeug und hält den Druck bis zum Ablauf der Kühlzeit konstant. Während des Schließens und des Einspritzens werden Schließeinheit und Werkzeug deformiert (siehe Abschnitt 7.4.1.2). Beim Einspritzen atmet das Werkzeug. Die durch die Schließkraft hervorgerufene Stauchung des Werkzeugs im Bereich der Trennflächen wird durch die Auftreibkraft rückgestellt. Wird die Auftreibkraft größer als die Schließkraft, so beginnt das Werkzeug zu öffnen. Ab einem Öffnungsweg von einigen 1/100 mm kann durch Überspritzen Grat oder auch Schwimmhaut entstehen. Beides muss unbedingt vermieden werden, da überspritzte Formteile normalerweise den Anforderungen nicht genügen. Weiterhin entstehen durch Grat und insbesondere durch Schwimmhaut Beschädigungen der Dichtkanten des Werkzeugs. Diese sind darauf zurückzuführen, dass die volle Schließkraft auf die Stahlflächen wirkt, die durch Grat oder Schwimmhaut bedeckt sind, wenn die Auftreibkraft in der Werkzeughöhlung abgebaut ist. Der mittlere Teil des Bilds zeigt, dass die Spritzeinheit die Düse während der Einspritz-, Nachdruck- und Dosierzeit an das Werkzeug wegen der erforderlichen Dicht-

**Bild 5.5** Zyklusablauf beim Spritzgießen [4]

Durchgezogene Kurven: Wege, gestrichelte Kurven: Kraft oder Drücke;

$t_Z$ : Zykluszeit,  $t_S$ : Schließzeit Schließeinheit,  $t_O$ : Öffnungszeit,  $t_A$ : Anliegezeit Düse (Die Düse kann ggf. länger anliegen,  $t'_A$  oder immer  $t''_A$ ,  $t_P$ : Pausenzeit,  $t_{vor}$ : Spritzaggregat fährt vor,  $t_{zur}$ : Spritzaggregat fährt zurück,  $t_e$ : Einspritzzeit,  $t_n$ : Nachdruckzeit,  $t_d$ : Dosierzeit,  $t_k$ : Kühlzeit

heit mit relativ hoher Kraft presst (Zeit  $t_A$ ). Bei einer verschließbaren Düse, die man abheben kann, zumindest bis zum Ende des Nachdrucks (Zeit  $t'_A$ ). Danach folgt die besonders wichtige Arbeitsfunktion der Schnecke, die beim Einspritzen ( $p_E$ ) aber insbesondere beim Nachdrücken ( $p_N$ ) wesentlich zur Qualität des Arbeitsergebnisses beiträgt (unteres Teilbild). Der im Bild 5.5 dargestellte Ablauf ist von Teil zu Teil unterschiedlich und bewegt sich zwischen minimal wenigen Zehntelsekunden und maximal ggf. einigen Minuten.

*Werkzeugfüllvorgang beim Spritzgießen von Thermoplasten, exemplarisch*

In diesem Abschnitt ist das Füllen der formgebenden Werkzeugkavität gemeint. Der Füllvorgang ist für die Qualität der Spritzgussteile von hoher Bedeutung. Anders als die Metallschmelzen beim Druckgießen, die von der Anspritzstelle durch die Kavität bis auf eine gegenüberliegende Wand hindurchschießen, fließen Kunststoffschmelzen in einer so genannten Quellströmung (Bild 5.6) [6, 7, 9, 10, 11, 12, 57].

**Bild 5.6** Fließfrontausbildung zu verschiedenen Zeitpunkten des Einspritzvorganges bei einem plattenförmigen Formteil [9, 10, 11]

**Bild 5.7** Geschwindigkeitsprofile über dem Kanalquerschnitt [12, 13]

**Bild 5.8** Geschwindigkeits- und Schergeschwindigkeitsprofile (Steigung der Geschwindigkeitskurve) über dem Kanalquerschnitt zu verschiedenen Zeitpunkten während der Füllphase [12]

Diese Fließfrontausbildung bleibt im Prinzip bei allen Anschnittarten erhalten und kann entsprechend der Darstellung auch durch alle Arten von Kavitäten und deren Veränderungen entlang des Fließwegs verfolgt werden. Die Schmelze wird beim Einströmen unmittelbar der Anspritzstelle folgend in Tangentialrichtung gedehnt und in Radialrichtung geschert. Entsprechend diesen auf sie wirkenden Kräften orientieren sich die Makromoleküle in der Nähe des Füllpunktes biaxial. In dem gezeigten Bild ist zu erkennen, dass die tangentiale Dehnung in einiger Entfernung vom Füllpunkt (Pfeilspitze) fehlt. Hier überwiegt die Scherung und orientiert die Makromoleküle in Fließrichtung. Dieses führt dazu, dass bei Berechnungen meist nur Schervorgänge angenommen werden.

Die Randschichten der Schmelze erstarren an der kühleren Werkzeugwand. Dieser Vorgang schreitet während langsamer Einspritzung fort. Bei mittleren bis hohen Einspritzgeschwindigkeiten bleibt die Dicke der eingefrorenen Randschicht konstant. Der Einfriervorgang wird durch Friktion ausgeglichen. Dadurch verändern sich die Fließquerschnitte örtlich und zeitlich und die Strömungsverhältnisse sind instationär. Dieses wird in Bild 5.7 angedeutet. In diesem Bild werden jedoch vorzugsweise die

Vorgänge an der Fließfront dargestellt. Die Haut wird biaxial gedehnt und orientiert. Da sich die Haut in diesem Zustand an die kalte Werkzeugwand anlegt, wird diese Querorientierung in einer dünnen Hautschicht eingefroren.

Im durchströmten Querschnitt im Werkzeug verändern sich in Verlauf der Einspritzzeit die Geschwindigkeits- und die Schergeschwindigkeitsprofile (Bild 5.8). Das Orientierungsmaximum, auch ein Temperaturmaximum befinden sich im Formteil immer im Bereich des Schergeschwindigkeitsmaximums. Es wandert mit zunehmender Erstarrung der wandnahen Schichten ins Innere. Das bedeutet, dass die Orientierungsmaxima mit zunehmender Erstarrung ebenso weiter ins Innere wandern. Daraus folgt, dass angussnah relativ breite, stark orientierte Schichten vorliegen. Zum Fließwegende hin nimmt die Orientierung ab.

Die Orientierung kann durch die Wanddicke, Masse- und Werkzeugtemperatur, Einspritzgeschwindigkeit, Nachdruck und ggf. andere Parameter beeinflusst werden. Orientierungsunterschiede und -überlagerungen erzeugen Anisotropie der Eigenschaften. Die Orientierung der Molekülketten hat großen Einfluss auf das Schrumpfverhalten, auf den Verzug und auch auf einige mechanische Eigenschaften.

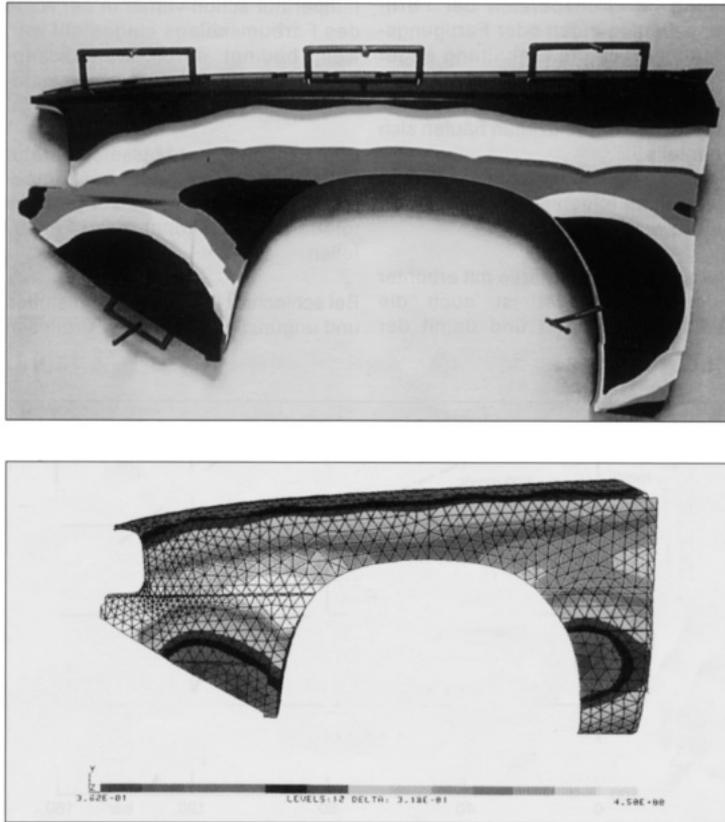
Die vollständige Beobachtung des Füllvorganges gelingt im Simulationsverfahren (CADMOULD, MOLDFLOW u. auch andere) am Bildschirm mit inzwischen außerordentlicher Präzision (siehe Abschnitt 11.2). Die derart gefundenen Prognosen sind bereits bei der Planung von hohem Nutzen und helfen Fehler zu vermeiden. So kann man auch Formteileigenschaften, insbesondere Aussagen über Orientierung und Schwindung vorhersagen.

Auch für Studien und Ausbildung sind simulierte Produktionsprozesse ein wichtiges Hilfsmittel, um die Zusammenhänge zwischen Prozessparametern und möglichen Fehlern sowie der Qualität schneller und einfacher verstehen zu lernen [32].

Eine andere, allerdings nur am gefertigten Werkzeug durchführbare Methode ist die der Herstellung einer sog. Füllreihe [4]. Bild 5.9 zeigt eine Abbildung einer Füllreihe und das entsprechende Ergebnis einer Simulationsrechnung am Beispiel eines Pkw-Kotflügels [19, 31].

In einem Anspritzversuch beginnt man mit einer erheblich zu niedrig eingestellten Dosierung, die von Zyklus zu Zyklus gesteigert wird. Die entformten Formteile zeigen das Fortschreiten der Fließfront. Man erkennt, wie Kerne, Durchbrüche, Wanddickensprünge u. a. m. umflossen werden. Auf diese Weise erhält der Spritzgießer Informationen über die Lage von Bindenähten, Fehlstellen und Lufteinschlüsse. Bindenähte und Lufteinschlüsse können sehr störend und qualitätsmindernd sein. Meist ist an der oder den Stellen des Lufteinschlusses für eine besondere Entlüftung zu sorgen. Entsteht ein Lufteinschluss am Fließwegende, so kann durch den eintretenden adiabatischen Kompressionsstoß eine derart große Lufterwärmung eintreten, dass Schmelzeanteile oberflächlich zersetzt werden (Dieseleffekt, Luftbrenner). Dieses lässt sich nur durch die richtige Entlüftung durch Spalte im Werkzeug nach Querschnitt und Lage angepasst verhindern.

Für schwerwiegende Werkzeugoptimierungen kommen allerdings die durch Füllreihen gewonnenen Erkenntnisse zu spät, da eine gravierende Werkzeugänderung kostspielig oder ggf. unmöglich ist. Es gibt auch Formteile, die für eine Füllreihe ungeeignet sind, da sie sich teilgefüllt nicht entformen lassen. Deswegen ist die richtige



**Bild 5.9** Nacheinander folgende Füllstadien (Füllreihe) beim Teilfüllen eines Kotflügels (a) und im Vergleich dazu das Ergebnis einer Simulationsrechnung (b) [31]

Entscheidung die, die Werkzeugfüllung am Rechner zu simulieren. Nur wenn dann noch Fragen offen bleiben, kann die Füllreihe Hilfestellung geben.

Eine besondere Erschwernis für die Beurteilung der Vorgänge direkt an der Maschine besteht darin, dass von der Schneckenvorlaufgeschwindigkeit nicht unmittelbar auf die Fließfrontgeschwindigkeit geschlossen werden kann [15, 16]. Die deutliche Kompressibilität der Kunststoffschmelze verzögert den Fluss der Schmelze im Werkzeug.

#### *Druckverlauf im Werkzeug und Einflussnahme auf den Einspritzvorgang sowie Einfluss auf Formteileigenschaften*

Mit der Auswahl eines Kunststoffs ist eine Basiseigenschaft für Formteile getroffen worden. Die Eigenschaften der hergestellten Formteile werden danach nur noch durch die Verarbeitung und Werkzeug- (Geometrie-)merkmale beeinflusst. Neben Masse- und Werkzeugtemperatur entscheiden der Einspritz- und der Nachdruckvorgang über den Grad der Ausformung (Maßhaltigkeit) und das Qualitätsniveau des Formteils.

Wie in Bild 5.4 gezeigt wurde, stehen eine Reihe von Druckverläufen zur Diskussion. Tatsächlich spielen sie auch alle eine wichtige Rolle, da auch die anfangs druck-erzeugende Größe für das Ergebnis am Ende der Stufen bedeutsam ist. Maschinen-

seitig können nur die Einspritzkraft und die Schneckenvorlaufgeschwindigkeit z. B. über den Hydraulikdruck oder elektromechanische Vortriebe direkt beeinflusst werden. Für die Beurteilung des Ergebnisses, also der Teilequalität, ist der Druckverlauf im Werkzeug verantwortlich. Daraus folgt, dass der Hydraulikdruck möglichst so zu führen ist, dass der für die Formteilentstehung relevante Werkzeuginnendruck optimal verläuft. Andererseits hat häufig gerade der Hydraulikdruckverlauf besonders wenig Ähnlichkeit mit dem Werkzeuginnendruckverlauf. Betrachten wir in Bild 5.10 einen charakteristischen Druckverlauf im Hydraulikzylinder und die dazu gehörende Druckkurve im Werkzeug.

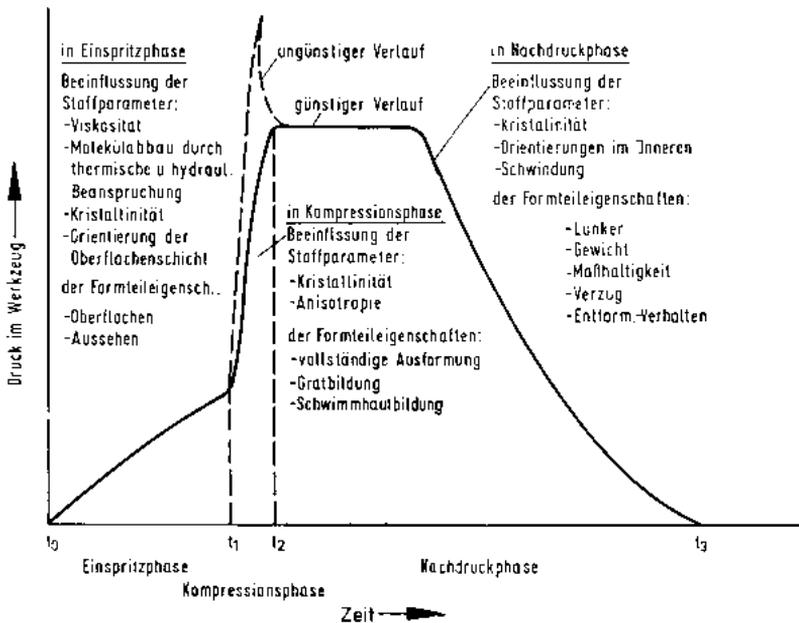
**Bild 5.10** *Hydraulikdruckverlauf (beispielhaft) und zugehöriger Werkzeuginnendruckverlauf während eines Spritzgießzyklus [14]*

In der Einspritzphase ( $t_0$  bis  $t_1$ ) kann man Einflüsse der Reibungswiderstände in der Einspritzeinheit und der Strömungswiderstände in der Düse und im Anguss erkennen. Der Druckverlauf ist ebenso beeinflusst durch die Schmelzeviskosität wie auch in der Füllzeit  $t_1$  bis  $t_3$ . Der geringfügige Druckabfall danach deutet an, dass die Schmelzefront die Werkzeughöhhlung erreicht hat. Auch die Einspritzgeschwindigkeit macht sich bemerkbar. Die genannten Einflussfaktoren können den Druck beträchtlich nach oben oder unten verändern. Der Druck steigt dann mehr oder weniger

gleichmäßig bis zur volumetrischen Füllung an. Dieser Füllpunkt äußert sich meist als deutlicher Knick in den Verlaufskurven des Hydraulikdrucks und des Werkzeuginnendrucks. Die Einspritzkraft sollte im Allgemeinen unmittelbar vor dem Erreichen des Füllpunkts von hoch eingestelltem Einspritz- auf den niedrigeren Nachdruck umgeschaltet werden. Am Ende des Einspritzvorgangs erscheint hier eine Druckspitze (bei  $t_3$ ), die nicht nur von der eingestellten Druckhöhe sondern auch vom gewählten Umschaltzeitpunkt abhängt. Bildet sich diese Druckspitze auch im Werkzeugdruck als Kompressionsspitze ab (hier nicht gezeigt), so liegt der Umschaltzeitpunkt zu spät. Letztlich ist der Druckverlauf im Werkzeug für die Qualität des Ergebnisses besonders wichtig [3, 4, 5, 9, 16, 18, 22, 23, 24].

Moderne Spritzgießmaschinen sind in der Lage, Druckverläufe, auch den im Werkzeug bei entsprechend vorgesehener Sensorik auf dem Bildschirm der Steuereinheit darzustellen. Aus diesem Verlauf entnimmt der Spritzgießer optimal seine Information über einen gelungenen Prozess. Bei geschlossenen Regelkreisen kann auf das Reproduziergeschehen dieses Druckverlaufs Einfluss genommen werden.

Die Zuordnung der Qualitätsmerkmale zu einem idealisierten Druckverlauf im Werkzeug ist in Bild 5.11 gezeigt. Dadurch wird die Bedeutung der Druckkurve im Werkzeug für messtechnische Kontrollen und regelungstechnische Maßnahmen betont. Nahezu alle qualitätsbestimmenden Merkmale werden hier fixiert.

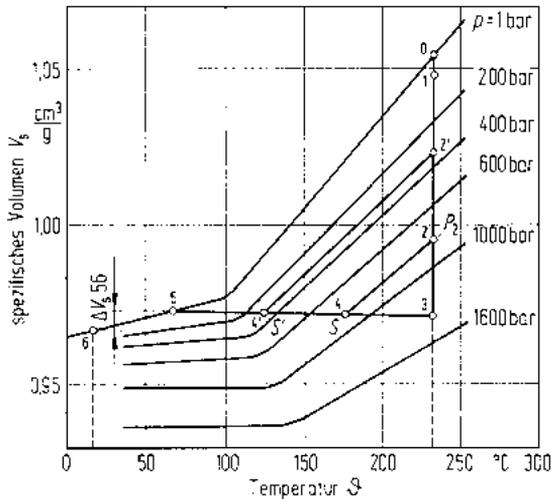


**Bild 5.11** Charakteristische Werkzeuginnendruckkurve mit Hinweisen auf Einflussparameter und beeinflussten Formteileigenschaften [5]

### *pvT-Diagramm*

Physikalisch vermittelt das pvT-Diagramm besonders gut das Verständnis für das Einspritzen, das Ausformen und das Abkühlen unter Druck. Dabei geht man davon

aus, dass der Füll- und Kompressionsvorgang näherungsweise durch die mittlere Massetemperatur und den Druck in der Masse beschrieben wird [4, 6, 7, 18.]. Bild 5.12 zeigt drei prinzipielle Möglichkeiten der Druckführung am Beispiel eines  $pV$ -Diagramms für einen amorphen Kunststoff.



**Bild 5.12** Verfahrensverlauf des Spritzgießvorgangs dargestellt am  $pV$ -Diagramm von Polystyrol für eine mittlere Abkühlgeschwindigkeit von 2 K/s, S: Siegelpunkt [4]

Der Füllvorgang (er ist nicht identisch mit dem Beginn der Einspritzzeit) beginnt bei Punkt 0. Bei isothermem Füllvorgang ist die Kavität bei Punkt 1 volumetrisch gefüllt. Hier wird der maximale Einspritzdruck erreicht. Danach beginnt die Kompressionsphase. Diese endet je nach eingestellter Druckhöhe bei Punkt 2 oder 2', selten bei 3. Danach verläuft die Druckkurve im Idealfall entlang einer Isobaren bis zum Punkt 4, oder 4' dem Siegelpunkt. Der Verlauf bis zur Isobaren des Normaldrucks soll möglichst isochor verlaufen (von 4 oder 4' bis 5). Die Maßhaltigkeit beim Spritzgießen ist nahezu allein davon abhängig, ob es gelingt, Punkt 4 (4') isochor nach Punkt 5 zu überführen. Die Differenz der Volumina von Punkt 5 bis Punkt 6 verläuft unbeeinflusst. Sie ist jedoch das wichtige Maß für die Volumenschwindung  $V_S$ , aus der die Verarbeitungsschwindigkeit  $S_V$  abgeleitet wird und beschreibt also letztlich die Abbildgenauigkeit der Kavität durch die eingespritzte Formmasse.

$$V_S = \frac{V_{S5} - V_{S6}}{V_{S5}}$$

Die lineare Schwindung  $S_V$  beträgt bei gleicher Schwindung in alle drei Raumrichtungen:

$$S_V/3 = V_S.$$

Theoretisch wäre das Erreichen des Punkts 3 günstig. Im Werkzeug erreicht man üblicherweise jedoch maximal Drücke zwischen 200 und höchstens 1000 bar. Höhere Drücke werden auch vom Werkzeug schlecht beherrscht. Alle hier diskutierten Varianten gehen davon aus, dass die Nachdruckphase ideal druckkontrolliert (aktive

Nachdruckführung) beeinflusst wird. Normalverläufe liegen dann vorzugsweise etwa so wie im Bild 5.12 der Verlauf 1-2'-4'5. Es gibt jedoch beliebige Abweichungen, die je nach Formteil gewollt oder ungewollt verlaufen. So verschiebt z. B. die Anhebung der Werkzeugtemperatur den Punkt 5 weiter nach oben. Die Differenz zwischen 5 und 6 (Verarbeitungsschwindung) wird zwangsläufig größer oder man muss durch höheren Druck dagegenwirken. Die Formmasse schwindet von Punkt 5 bis 6 entsprechend dem Volumenschwund unbeeinflussbar. Entsprechend groß ist die Schwindung nach der Entformung.

Einzig wichtig für die Konstanz des erwarteten Formteilmaßes ist die Frage, ob es gelingt, das Ende der Prozesskurve im PVT-Diagramm von Zyklus zu Zyklus exakt auf denselben Punkt (z. B. Punkt 5) zu führen. Jede Abweichung führt zur Maßabweichung.

Jeder Kunststoff hat sein PVT-Diagramm. Die Druckführung wird durch die Abkühlgeschwindigkeit erheblich beeinflusst.

Beim Spritzgießen können bis zu etwa 85 Prozessparameter wirksam werden, wenn man Sonderfunktionen mit berücksichtigt. Wesentliche Standardparameter, die bei jedem Zyklusablauf in Funktion treten, sind in der Tabelle 5.1 aufgeführt. Betrachtet man die auftretenden Schwankungsbreiten, so kann man von einem „Prozessfenster“ sprechen [11]. Es gibt eine grobe Übersicht über die Bedeutung der einzelnen Systemkomponenten und die Schwankungsbreiten auch der Prozessparameter. Die Bedeutung einzelner Parameter kann sich je nach zu lösender Aufgabe verschieben. Z. B. gewinnen die Drehzahl und die Dosierzeit erheblich an Bedeutung, wenn es sich um extrem kurze Zyklen handelt und die Dosierzeit in wenigen Sekunden zuverlässig ablaufen muss.

*Erläuterungen zu Angaben in Tabelle 5.1, siehe auch entsprechende Erläuterungen in folgend angegebenen Abschnitten:*

- ⇒ Schließkraft (siehe Abschnitt 7.8.5): Die Schließkraft muss immer größer sein (ca. 10 %) als die zu erwartende Auftriebskraft. Ist das der Fall, dann hat sie keine Wirkung auf die Formteilqualität. Bei solchen mechanisch schließenden Systemen, bei denen die Endstellung der Verriegelung nicht vorgegeben ist. (Gleitstützschuhe, Kugelumlaufspindel in Direktverriegelung, Zahnstangen- Direktverriegelung u. Ä.) spielt ggf. die Qualität der Schmierung eine Rolle. In solchen Fällen muss messtechnisch ermittelt werden, ob die vorgesehene Sollschießkraft erreicht wird.
- ⇒ Zuhaltkraft (siehe Abschnitt 7.8.5): Erläuterungen siehe zuvor unter Schließkraft. Allerdings ist die Zuhaltkraft die Kraft, die dem Auftreiben durch die durch Werkzeuginnendruck erzeugte Auftreibkraft direkt entgegenwirkt. Bei asymmetrischen Belastungen spielt sie eine wichtige Rolle. Die Planparallelität der Platten ist meist von großer Bedeutung.
- ⇒ Steifheit der Aufspannplatten: Sie sorgt für gute Anlage der Werkzeughälften und stützt diese gegen Durchbiegung beim Einspritzen und Nachdrücken gegen die Wirkung der Auftreibkraft ab. Steife Werkzeugaufspannplatten schonen die Führungen des Werkzeugs und verhindern die Bildung von Schwimmhäuten und Grat. Fehlende Steifheit des Werkzeugs kann allerdings nur dann durch Steifheit der Aufspannplatten ersetzt werden, wenn die formgebenden Platten des Werkzeugs vollflächig aufliegen.

Tabelle 5.1 Prozessfenster beim Spritzgießen mit üblichen Abweichungen vom Sollwert und geordnet nach Wichtigkeit (1 = weniger wichtig, 6 = sehr wichtig)

Verfahrensparameter	erreichbare Bandbreite	Wichtigkeit der Größe im Prozess <sup>1)</sup>
Schließkraft	±2–5 %	1
Zuhaltekraft/Steifheit der Werkzeugaufspannplatten	±2–5 %	2
Einspritzdruck	±3–5 %	2
Drehzahl der Schnecke	±2–4 %	2
Dosierzeit	±2–8 %	2
Staudruck	±2–4 %	2
Einspritzgeschwindigkeit	±3–5 %	3
Einspritzzeit	±2–5 %	3
Restmassepolster	±2–5 %	3
Schmelzetemperatur radial	±3–6 °C	4
Schmelzetemperatur axial	±5–20 °C	4
Werkzeugtemperatur über eine endliche Fläche	±5–20 °C	4
Werkzeugtemperatur im zeitlichen Zyklus	±1–5 °C	5
Nachdruckzeit	±1–2 %	5
Zykluszeit	±1–2 %	5
Nachdruck	±1–3 %	6

<sup>1)</sup> Je nach zu lösender Aufgabe, abhängig vom Formteil können sich leichte Verschiebungen der Wichtigkeit ergeben.

- ⇒ Drehzahl der Schnecke: Solange die Drehzahl im zulässigen Limit von meist 0,05 bis 0,3 m/s (Technische Teile) und bis 1,5 m/s (Hochgeschwindigkeitsspritzgießen) Umfangsgeschwindigkeit bleibt, ist ihre aktuelle Größe ohne große Bedeutung. Die Drehzahl der Schnecke sollte immer so niedrig wie möglich eingestellt werden. Zu hohe Schergeschwindigkeit kann zu Materialabbau führen. Wichtig ist jedoch die Reproduziergenauigkeit von Zyklus zu Zyklus.
- ⇒ Dosierzeit: Die Dosierzeit muss innerhalb kleiner Grenzen konstant sein, da sonst die Gefahr von Unregelmäßigkeiten bei der Schmelzeaufbereitung besteht. Sie sollte stets so gewählt werden, dass sie die verfügbare Zeit, meist ist das die Kühlzeit, vollständig ausnutzt (siehe Drehzahl der Schnecke). Schwankungen in der Dosierzeit sind Indiz für Einzugs- oder Förderschwankungen. Beide beeinflussen die Konstanz der Schmelzehomogenität negativ. In Grenzfällen könnte die Zykluszeit beeinträchtigt werden, wenn nicht innerhalb der Kühlzeit zuverlässig dosiert wird.

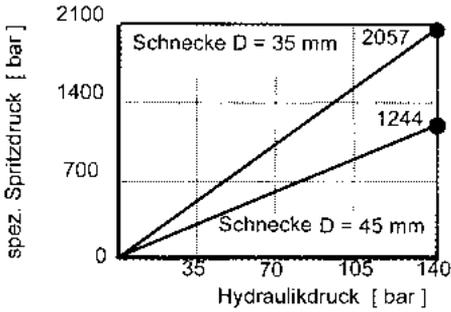
- ⇒ Einspritzgeschwindigkeit/Einspritzzeit: Sie sind von großer Wichtigkeit, da sie Stoffparameter wie Viskosität (Temperatur der einströmenden Schmelze), Molekularabbau, Kristallinität, Orientierung der Oberflächenschicht im Formteil und die Formteileigenschaften wie Oberflächenqualität direkt beeinflussen.
- ⇒ Restmassepolster: Solange am Ende der Nachdruckzeit noch ausreichend Restmassepolster vorhanden ist, hat dieses keine Auswirkungen auf die Formteilqualität. Im Grenzbereich ist die Auswirkung jedoch sehr ausgeprägt und führt zu starken Gewichtsschwankungen des Formteils. Ohne Restmassepolster ist das kontrollierte Spritzgießen meist unmöglich. Selbst beim Silikon- und Duroplast-spritzgießen wendet man es an. Dabei hält man den Dosierweg mit besonderen Maßnahmen sehr konstant. Ein großes Restmassepolster muss vermieden werden, da die Kompressibilität der Kunststoffschmelze zu Schwankungen des Formteilgewichts führen kann.
- ⇒ Schmelzetemperatur radial/Schmelzetemperatur axial: Die Temperatur der Schmelze, auch ihre Inhomogenität ist ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Formteilqualität. Einspritzvorgang und Abkühlverhalten (innere Spannungen) werden beeinflusst. Über die erreichbare Homogenität gibt es weitverbreitet falsche Vorstellungen. Dies liegt daran, dass die Schmelzetemperatur selten gemessen wird und man von der angezeigten Zylindertemperatur fälschlicherweise auf gleiche absolute Höhe und gleiche Toleranzen der Schmelzetemperatur schließt. Besonders groß sind die axialen Inhomogenitäten. Dieses ist u. a. ein Argument für die Anwendung von Schnecken mit relativ großem Durchmesser und kleiner Dosierwege ( $<3 D$ ).
- ⇒ Werkzeugtemperatur über eine endliche Fläche/Werkzeugtemperatur im zeitlichen Zyklus: Für die Wirtschaftlichkeit des Herstellprozesses (Kühlzeit) ist die Werkzeugtemperatur von erheblich größerer Bedeutung als die Schmelzetemperatur (Faktor 5). Sie wirkt erheblich auf die Formteilqualität. Eine sorgfältige Auslegung des Kühlkanalsystems durch die Möglichkeiten der Simulationsberechnung ist deswegen immer angesagt, wenn mittlere bis höhere Qualitätsansprüche gestellt werden. Ohne Berechnung ist eine optimale Temperaturverteilung an den Kontaktflächen zwischen Formmasse und Werkzeugkontur nicht zu erreichen. Die Empirie allein ist nur in den Fällen ausreichend, wo positive Beispiele vorliegen. Die Leistungsfähigkeit des Temperiersystems ist verantwortlich für die Konstanz der Werkzeugtemperatur von Zyklus zu Zyklus.
- ⇒ Nachdruckzeit: Die Konstanz der gesamten Nachdruckphase ist von höchster Bedeutung. Die Nachdruckzeit ist meist von gleich großer oder aber auch höherer Bedeutung als die Nachdruckhöhe.
- ⇒ Zykluszeit: Wichtig für die Konstanz des Prozesses und der Qualität, da eine Reihe anderer Parameter bei ihrer Schwankung einbezogen werden.

## 5.2.1 Drücke beim Spritzgießen

### 5.2.1.1 Hydraulikdruck

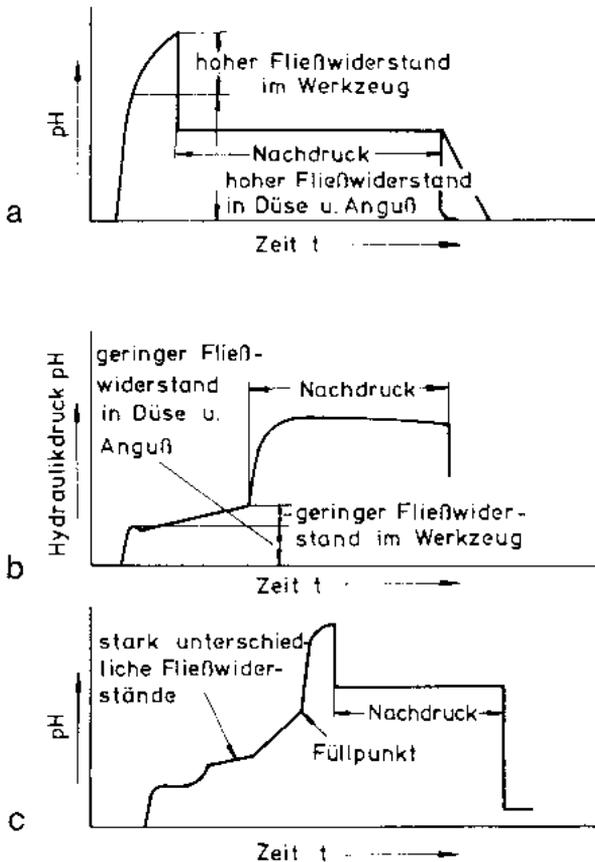
Der spezifische Spritzdruck ist der theoretische Druck, der mit Hilfe des Übersetzungsverhältnisses vom hydraulischen Spritzzylinder in den Schneckenorraum (Hydraulikdruck) errechnet wird (Bild 5.13).

Man rechnet im Allgemeinen mit einem Reibungsverlust im Hydraulikkolben und in der Schnecke von ca. 5%. Dabei können von Maschine zu Maschine große Unter-



**Bild 5.13** Zusammenhang zwischen Hydraulikdruck und spezifischem Spritzdruck vor der Schnecke, gestrichelte Linie effektiv erreichbarer Druck nach Abzug der Reibungsverluste von ca. 5% [33]

schiede auftreten. Maßgebend sind dafür die Passungen und die rein zufällige Geradheit der Schnecke. Man sollte davon ausgehen, dass es keine gerade Schnecke gibt. Schnecken sind alle unterschiedlich krumm!



**Bild 5.14** Beeinflussung des Druckes im Hydraulikkolben durch verschiedene Einflüsse [3]  
 a: Füllpunkt nicht erkennbar, da hoher Füllwiderstand, b: Normalverlauf, Füllpunkt erkennbar, da niedriger Fließwiderstand in Düse, Anguss und Kavität, c: unterschiedliche Fließwiderstände bis zur volumetrischen Füllung, z. B. durch Wanddickensprünge