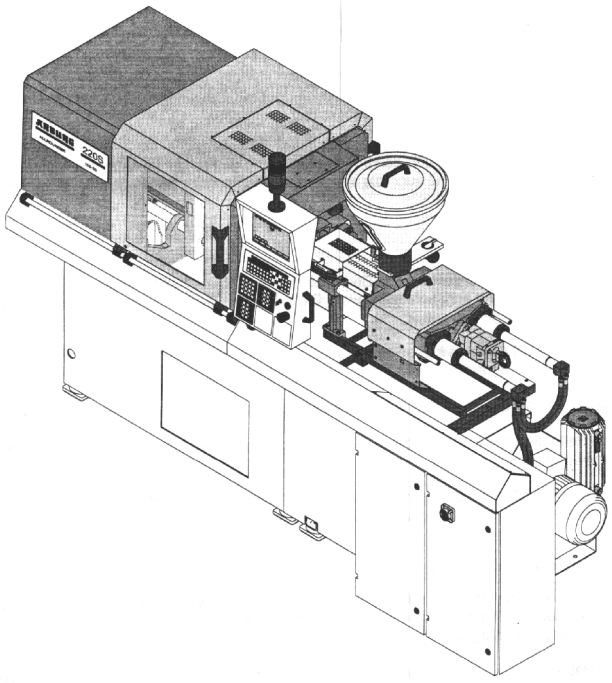
UNIVERSITÄT STUTTGART
INSTITUT FÜR KONSTRUKTION UND FERTIGUNG IN DER FEINWERKTECHNIK
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe

Hauptfach-Praktikum

Spritzgießen



Thomas Walther

Version 1.2

WS 99/00

alle Rechte vorbehalten

Hauptfachpraktikum Spritzgießen

In diesem Praktikum sollen die Kenntnisse über das Produktionsverfahren Kunststoffspritzgießen vertieft werden. Die Grundlagen werden in der Vorlesung „Grundlagen der Feinwerktechnik - Konstruktion und Fertigung“ vermittelt. Das Skript erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll den Praktikumsversuch ergänzen.

Die Funktionsweise der Spritzgießmaschine sowie der Ablauf des Spritzgießprozesses beim Abformen von Thermoplasten soll an einem praktischen Beispiel vorgestellt werden. Dazu wird ein Spritzgießwerkzeug auf die Maschine montiert und der Spritzgießprozeß wird eingestellt und optimiert.

Das Skript entstand mit freundlicher Genehmigung der **Firma Arburg** unter Verwendung der Schulungsunterlagen „Kunststofftechnologie-Kurs KT1“ und dem „Maschineneinstellkurs Allrounder S“.

Das Praktikum wird in folgende Bereiche gegliedert:

1 Einführung in die Spritzgießmaschine 3

2 Vorbereitungen zum Abformen 8

3 Montage und Einrichtung des Werkzeugs 9

4 Einrichten der Spritzeinheit 10

5 Einstellen und Optimieren des Spritzprozesses 11

6 Anhang: Datenblätter 16

1 Einführung in die Spritzgießmaschine

Arburg Allrounder 270 S

Spritzgießmaschinen unterscheiden sich im wesentlichen durch die unterschiedlichen Bauarten der Schließeinheiten und Spritzeinheiten einschließlich Antrieb und Steuerung. Das Praktikum wird an einer Maschine der Firma Arburg, Typ Allrounder 270 S 250-60 durchgeführt, einer Universalmaschine mit horizontal angeordneter Spritzeinheit. Der Schneckendurchmesser beträgt 18 mm, womit ein maximaler Spritzdruck von 2500 bar und ein maximales Spritzteilvolumen von 20 cm^3, entspechend 17 g Polystyrol, erreicht wird. Die Maschine wird vollhydraulisch angetrieben, die maximale Schließkraft beträgt 250 kN. Die Multiprozessorsteuerung „Selogica" bietet eine menügesteuerte Bedienung auf dem Bildschirm an.

Maschinenständer und Hydraulik der Spritzgießmaschine bilden die Basis und die zentrale Energieversorgung. In der Spritzeinheit wird das Kunststoffgranulat zur verarbeitbaren Schmelze aufbereitet, die in dem in der Schließeinheit integrierten Werkzeug zum fertigen Kunststoffbauteil abgeformt wird. Die Steuerungseinheit organisiert die einzelnen Komponenten zu einem geregelten Spritzgießprozeß.

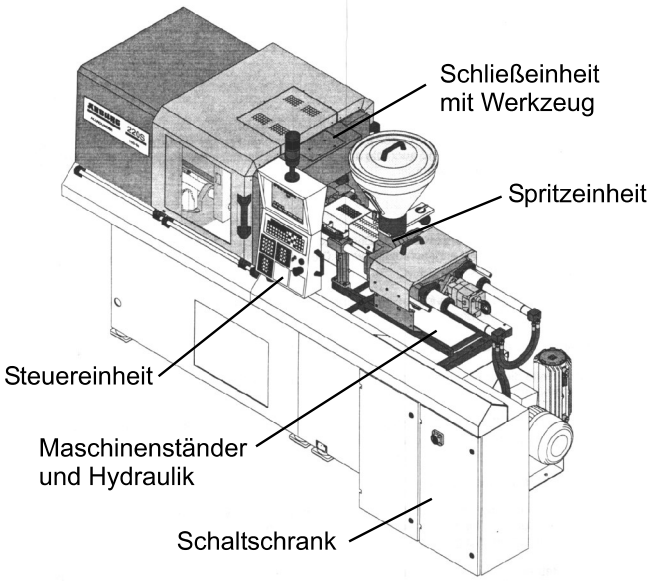


Bild 1.1 Arburg Allrounder

In den folgenden Abschnitten werden die Funktionsweisen einzelner wesentlicher Komponenten kurz beschrieben.

Schließeinheit

Die Schließeinheit nimmt das Werkzeug auf, sie sorgt für

- das Zufahren des Werkzeugs,
- den Aufbau der Schließkraft und das Verriegeln der Schließeinheit,
- die Aufnahme der Zuhaltekraft,
- das Öffnen und Auffahren des Werkzeugs sowie
- das Auswerfen des Formteils.

Die an bzw. in der Schließeinheit wirkenden Kräfte sind wie folgt definiert:

- Schließkraft:

  Die Summe aller Kräfte, die die Säulen nach vollzogenem Schließvorgang auf Zug beanspruchen. Die Schließkraft ist auch die Kraft, die die Werkzeughälften aufeinanderpreßt.

- Zuhaltekraft:

  Die Summe aller Kräfte, die die Säulen der Schließeinheit beim Herstellen des Formteils beanspruchen. Die beim Einspritzen aufzubringende Zuhaltekraft ist abhängig
  - von der maximalen Auftriebskraft im Werkzeug
  - von der Art des Schließsystems
  - von der Steifigkeit der Schließeinheit des Werkzeugs.

- Auftriebskraft:

  Wird durch die in das Werkzeug eingespritzte Masse bewirkt; sie ergibt sich aus dem Werkzeuginnendruck und der auf die Trennebene projizierten Spritzteilfläche. Die Auftriebskraft tritt bei maximalem Werkzeuginnendruck auf, im allgemeinen am Ende der Kompressionsphase und Beginn der Nachdruckphase.

- Werkzeugöffnungskraft:

  Die Kraft, die von der Schließeinheit zum Öffnen des Werkzeugs aufgebracht werden kann.

- Auswerferkraft:

  Die Kraft, die auf das Auswerfersystem der Werkzeugs ausgeübt werden kann.

Die Schließeinheit bildet ein in sich geschlossenes Kraftsystem, in dem sich Zug- und Druckkräfte das Gleichgewicht halten. Der Kraftfluß verläuft vom Schließzylinder über die bewegliche Aufspannplatte, das Werkzeug und die feste Aufspannplatte weiter über die Säulen und den Rahmen zurück zum Schließzylinder.

Werkzeug

Entsprechend der Vielfalt der Kunststoffteile, die durch Spritzgießen hergestellt werden, gibt es auch viele verschiedene Arten von Spritzgießwerkzeugen. Hier wird die Beschreibung jedoch auf die einfachste Art, das Zweiplattenwerkzeug, begrenzt. Das Zweiplattenwerkzeug zählt zu den am meisten verwendeten Werkzeugarten. Es läßt sich in drei Teile gliedern: die angußseitige Werkzeughälfte, die auswerferseitige Werkzeughälfte und das Auswerferpaket.

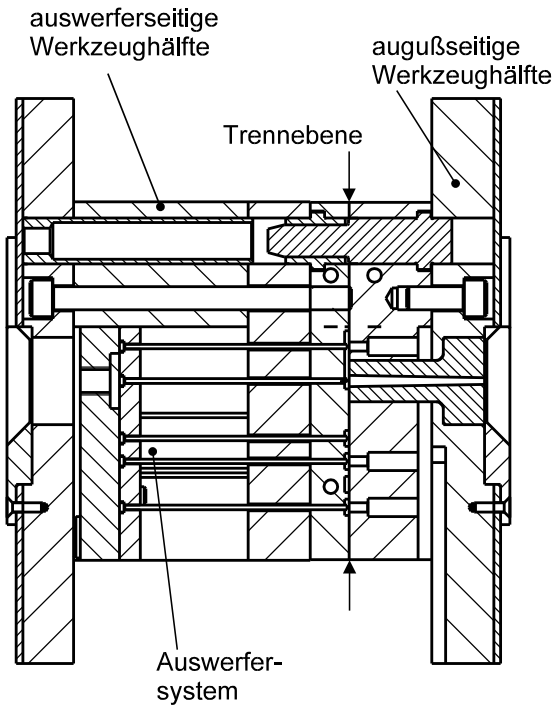


Bild 1.2 Versuchswerkzeug

Der Kunststoff wird von der Düsenspitze über die Angußbuchse in die Kavität eingespritzt. Nach erfolgter Abkühlung und Erstarrung des Materials wird das Werkzeug geöffnet und das Bauteil über die Auswerfer ausgestossen.

Spritzeinheit

Mit der Spritzeinheit wird die Spritzgießmasse plastifiziert und in das in der Schließeinheit befindliche Werkzeug eingespritzt. Spritzeinheiten können im allgemeinen mit mehreren Zylindergrößen, d.h. mit unterschiedlichen Schneckendurchmessern aus-

gerüstet werden. Je größer der Schneckendurchmesser, desto höher ist das erreichbare Spritzteilgewicht, aber umso kleiner wird der maximale Spritzdruck und umgekehrt.

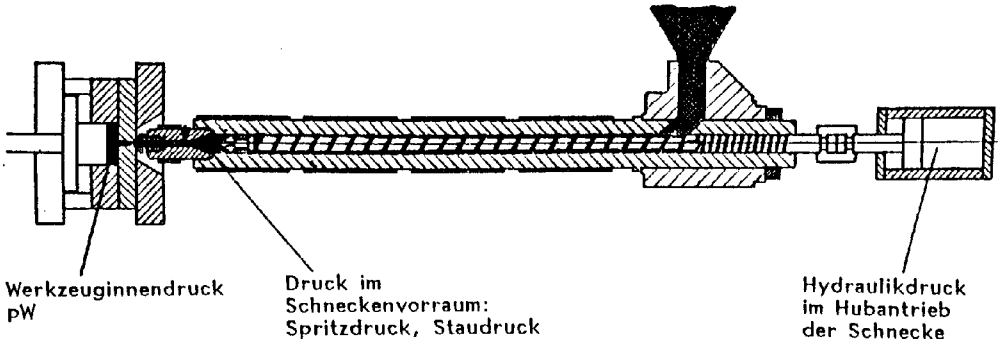


Bild 1.3 Spritzeinheit

Die Plastifizierung erfolgt im Plastifizierzylinder durch die Wärmezufuhr der Heizbänder und durch die Reibungswärme (Friktion) des Kunststoffgranulats an der sich drehenden Plastifizierschnecke. Plastifizierung und Dosierung sind miteinander gekoppelt. Die sich drehende Schnecke plastifiziert die Masse und fördert sie dabei vor ihre Stirnfläche. Durch den dabei entstehenden Staudruck wird die Schnecke nach hinten aus dem Zylinder herausgeschoben. Ist das vorgesehene Dosiervolumen vor der Schnecke erreicht, wird die Schneckenbewegung gestoppt.
Beim Spritzen wirkt die Schnecke als Kolben, sie wird wieder in den Plastifizierzylinder geschoben und drückt dabei die vor ihrer Stirnfläche befindliche Masse durch die Spritzdüse in das Werkzeug.
Während der Erstarrung der Masse im Werkzeug muß soviel Masse aus dem Zylinder nachgedrückt werden, wie zum Ausgleich der Volumenschwindung erforderlich ist (Nachdruckphase).

Steuerung Selogica

Die Selogica-Steuerung arbeitet mit einem Multiprozessorsystem und einem hochauflösendem Grafikbildschirm. Sie ermöglicht durch ihre hierarchische Struktur (verschiedene Eingabeebenen) verbunden mit der Anwenderführung die größtmögliche Überschaubarkeit der Eingabedaten.

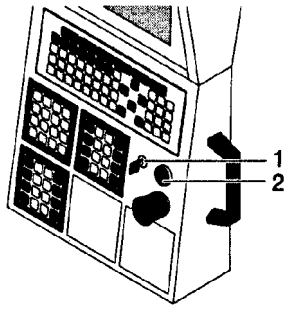


Bild 1.4 Bedieneinheit

Grundablauf eines Produktionszyklusses

In folgendem Bild ist der Grundablauf als einfachster Produktionsablauf der Maschine mit den Symbolen der Selogicasteuerung dargestellt:

- O Zyklus START
- O Werkzeug schließen
- O Düse vorfahren
- O Einspritzen
- O Nachdrücken
- O Kühlen und gleichzeitig
  - O dosieren
  - O dekomprimieren
  - O Düse zurückfahren
- O Werkzeug öffnen
- O Auswerfer vorfahren
- O Auswerfer zurückfahren
- O Zyklus ENDE

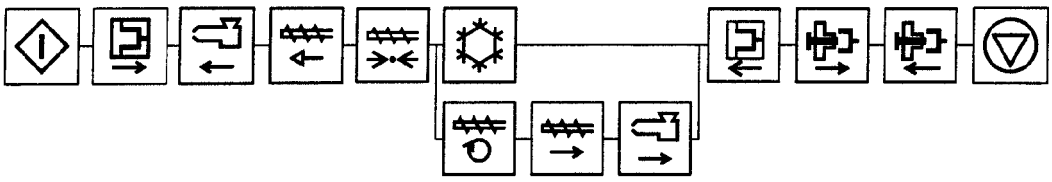


Bild 1.5 Grundablauf

2 Vorbereitungen zum Abformen

Mit dem Werkzeug wird ein kleiner Anschlagwinkel hergestellt. Das Bauteil ist in Bild 1 dargestellt, die genauen Abmessungen sind im Anhang zu finden.
Dieses Werkzeug wurde bewußt entgegen den Gestaltungsregeln für Spritzgießwerkzeuge gestaltet. Für das Praktikum ergeben sich somit Möglichkeiten, bewußt verschiedene Spritzgießfehler zu provozieren und durch Gegenmaßnahmen in der Prozeßführung wieder zu vermeiden.

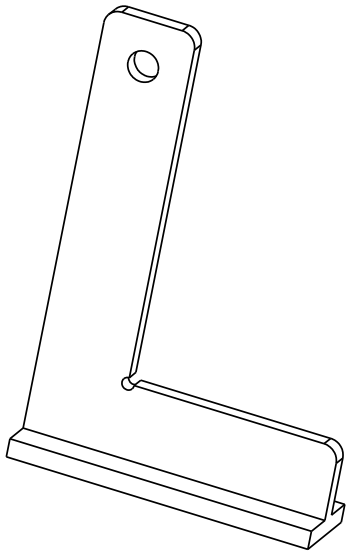


Bild 2.1 Versuchsbauteil

Im Vorfeld sind einige Daten zu ermitteln, die später zum Einstellen der Prozeßparameter benötigt werden:

- O Festlegen des verwendeten Kunststoffs
- O Bedingungen für das Vortrocknen
- O Schmelztemperaturfenster des Materials
- O Werkzeugtemperatur
- O Richtwerte für
  - Einspritzdruck
  - Nachdruck
  - Werkzeuginnendruck
  - Staudruck

Mit der bekannten Formteilgeometrie können noch

- O das benötigte Dosiervolumen,
- O daraus der für eine sinnvolle Füllzeit notwendige Einspritzstrom
- O Richtwerte für
  - den Nachdruckzeit und
  - die Restkühlzeit
- O und die benötigte Schließkraft

ermittelt werden.

Tabellen mit den entsprechenden Richtwerten befinden sich im Anhang.

3 Montage und Einrichtung des Werkzeugs

Das Werkzeug ist bereits auf der beweglichen Aufspannplatte aufgespannt und muß noch vollständig montiert und angeschlossen werden.

Hinweis: Jegliche Fahrbewegungen der Maschine sind erst dann möglich, wenn alle Schutzeinrichtungen vollständig geschlossen sind.

- O Betriebsart Einrichten einschalten
- O Grundprogramm in die Programmierebene einlesen
- O Düse zurückfahren
- O Werkzeug an die feste Aufspannplatte heranfahren, ausrichten und Befestigungsschrauben mäßig anziehen
- O Überprüfen, ob das Werkzeug an den Aufspannplatten anliegt und sich die Werkzeughälften in der Trennebene berühren
- O Werkzeugnullposition eingeben
- O Schrauben festziehen
- O Befestigungselemente (Brücke...) entfernen
- O Auswerferstange montieren
- O Auswerfer ankoppeln
- O Wegprogramm und Geschwindigkeiten einstellen
- O Verfahrwege überprüfen

Bei den Fahrbewegungen sind eine gleichförmige Beschleunigung beim Bewegungsbeginn und eine gleichförmige Verzögerung am Ende der Fahrbewegungen anzustreben.

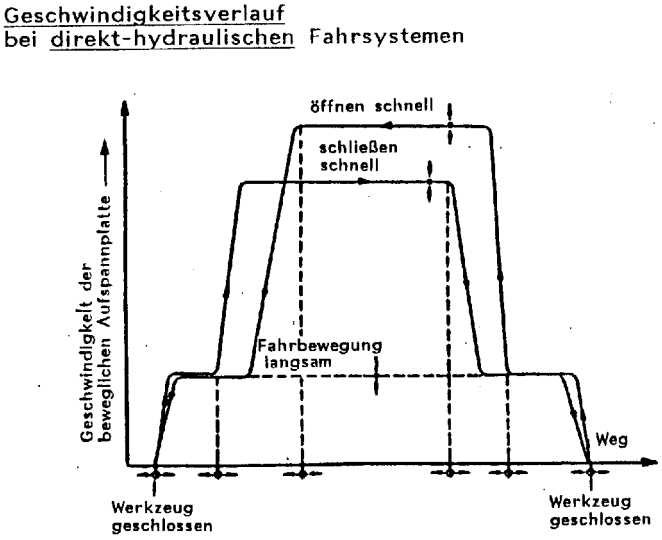


Bild 3.1 Geschwindigkeitsverlauf

Schließlich werden noch die externen Leitungen angeschlossen:

- O Anschluß der Temperierschläuche
- O Anschluß der Werkzeuginnendruckaufnehmer
- O Anschluß der Temperaturfühler

4 Einrichten der Spritzeinheit

Die Wegpositionen der Schnecke werden als Massevolumenwerte eingegeben bzw. angezeigt. Der Schneckennullpunkt (Massevolumen-Istwert = 0) bezeichnet die Schneckenposition in der vorderen Endlage des hydraulischen Antriebssystems.

Für die Thermoplastverarbeitung erfolgt die Beheizung über elektrische Heizkreise (Heizbänder mit Temperaturreglern). Die dazu erforderlichen Temperaturen liegen je nach Kunststoff zwischen 150˚C und 350˚C. Es ist zu beachten, daß die Wärmezufuhr an die Masse nicht nur durch die Zylinderheizung, sondern auch über die Reibungswärme und Scherung beim Plastifizieren und beim Einspritzen erfolgt.

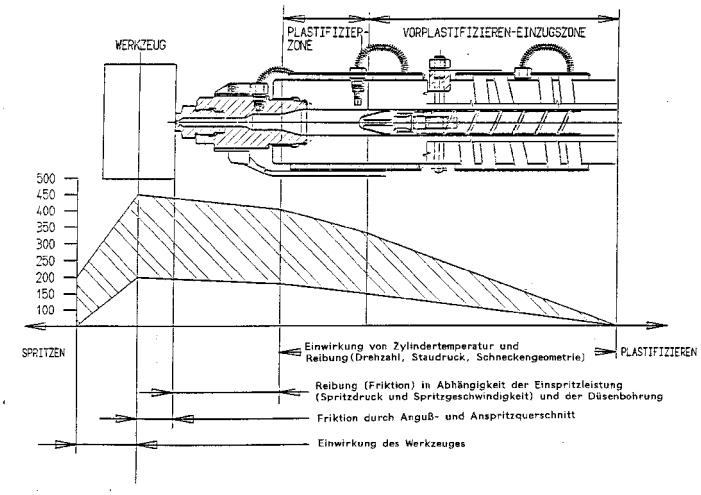


Bild 4.1 Temperaturprofil bei der Thermoplastverarbeitung

- O Zylindertemperaturen einstellen
- O Heizung einschalten
- O Werkzeugtemperatur einstellen
- O Temperierleitungen ÜBERPRÜFEN !! (Temperieröl!)
- O Temperiergerät einschalten
- O Vorgetrocknetes Granulat einfüllen
- O Schneckendrehzahl eingeben
- O Staudruck eingeben

Sobald die eingestellte Schneckentemperatur erreicht ist:

- O Material aufdosieren und fördern.

5 Einstellen und Optimieren des Spritzprozesses

Die Eigenschaften, die Qualität eines Formteils werden maßgeblich durch den Formgebungsprozeß im Werkzeug bestimmt. Dominierende Einflußgrößen sind dabei der

Druck- und der Temperaturverlauf im Werkzeug. Im Bild sind die für die Formteilbildung wichtigsten Parameter dargestellt.

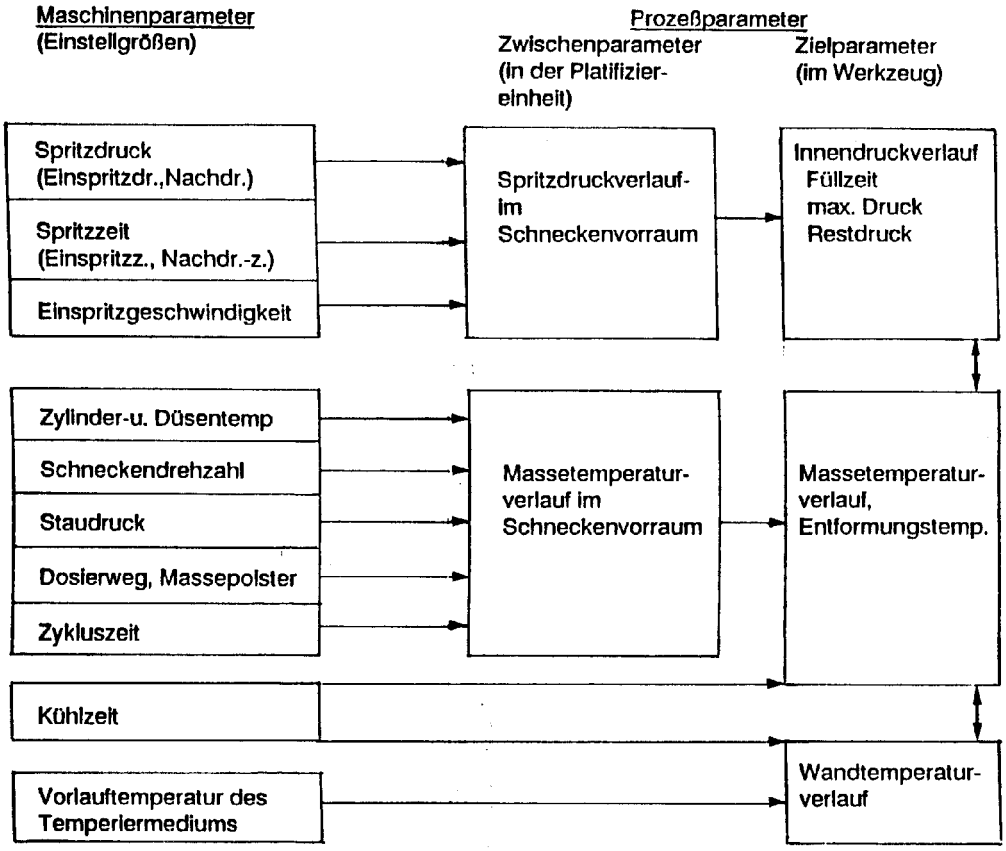


Bild 5.1 Einfluß der Maschinenparameter

Für die Einstellung der Prozeßparameter gilt generell:

- Einspritzgeschwindigkeit möglichst hoch
- Massetemperatur möglichst hoch
- Werkzeugtemperatur möglichst hoch.

Hohe Temperaturen bringen niedrige Viskosität der einströmenden Masse und niedrige Strömungsverluste mit sich. Damit ergeben sich geringe Druckunterschiede in der Form sowie kurze Füllzeiten.

Bei der praktischen Maschineneinstellung gibt es natürlich Grenzen der erzielbaren Einstellwerte, einige Parameter werden exemplarisch dargestellt:

Mit der Einspritzgeschwindigkeit wird man nicht immer bis an die Grenze der Leistungsfähigkeit der Maschine gehen können. Mit steigender Einspritzgeschwindigkeit nimmt die Neigung zur Freistrahlbildung und damit zum Auftreten von Oberflächenfehlern zu. Außerdem steigt aufgrund der Reibungswärme in den Angußkanälen die Schmelzetemperatur mit der Einspritzgeschwindigkeit noch weiter an.
Die Massetemperatur darf nicht so hoch werden, daß eine thermische Schädigung eintritt. Je empfindlicher die Masse ist, desto eher wird man geneigt sein, einen größeren Sicherheitsabstand von der oberen Grenztemperatur zu wählen. Andererseits sollte die Massetemperatur nicht zu niedrig sein, da sonst die höhere Viskosität höhere Strömungsverluste durch Reibung bewirkten.
Je höher die Werkzeugtemperatur ist, desto länger wird die Abkühlzeit und damit die Zykluszeit. Man wird die Werkzeugtemperatur daher nur so hoch wählen, wie es die gewünschte Qualität erfordert, um möglichst wirtschaftlich produzieren zu können.

Druckverläufe

Auf der folgenden Abbildung sind der Spritzdruck- und Werkzeuginnendruckverlauf dargestellt. Der Spritzdruck, verkörpert durch den Hydraulikdruck des Systems, ist im unteren Abschnitt dargestellt, der Werkzeuginnendruck, gemessen durch Meßfühler im Werkzeug, im oberen Abschnitt. Der Werkzeuginnendruck folgt dem Spritzdruck zeitverzögert, man bezeichnet:

O ... A Füllphase, bzw. dynamische Füllphase, bei der die Kavität mit Kunststoff gefüllt wird.

A ... C Quasistatische Phase, bei A ist die Kavität volumetrisch mit Masse gefüllt. Fließbewegungen der Masse führen nur noch geringfügig zu einer Verdichtung der Masse (bis B) und zum Ausgleich der Erstarrungsschwindung (bis C).

A ... B Kompressionsphase, die Masse wird dabei im Werkzeug verdichtet. Das Maximum des Werkzeuginnendrucks B stellt sich erst einige Zeit nach dem Erreichen der ersten Nachdruckstufe ein. Auch bei gleichbleibendem Spritzdruck sinkt der Werkzeuginnendruck infolge Schwindung der Masse etwas ab bis zum Siegelpunkt C.

B ... C Druckhaltephase bis zum Siegelpunkt. (Erstarren des Anschnitts)

C ... E Formgebungsphase, in der Formgebungsphase erfolgt Abkühlung auf Entformungstemperatur bis zum Öffnen des Werkzeugs bei E.

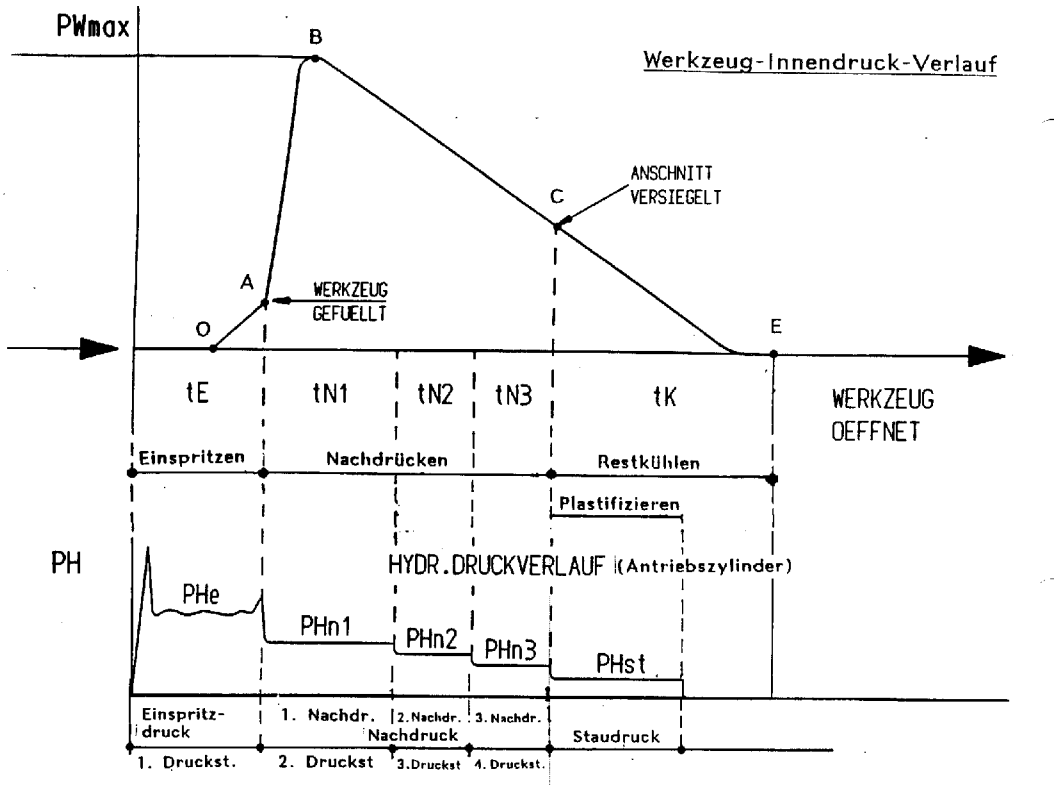


Bild 5.2 Druckverläufe

Umschaltpunkt

Das Bestimmung des Zeitpunkts zum Umschalten vom Einspritzdruck auf den Nachdruck (Umschaltpunkt) kann prinzipiell auf verschiedene Arten erfolgen:

- wegabhängig
- zeitabhängig
- spritzdruckabhängig
- werkzeuginnendruckabhängig.

Im Normalfall wird wegabhängig umgeschaltet, d.h. nach dem Erreichen der eingestellten Dosiermenge schaltet die Steuerung auf den Nachdruck um. Die Dosiermenge wird beim Anfahren des Prozesses ermittelt. Beim zeitabhängigen Umschalten wird nach einer bestimmten Einspritzzeit umgeschaltet, bei den druckabhängigen Umschaltarten nach dem Erreichen des gewünschten Hydraulikdrucks (d.h. Spritzdrucks) bzw. des Werkzeuginnendrucks.

Die beste Methode ist das Umschalten über den Werkzeuginnendruck, da dies eine geregelte Umschaltung ist. Der tatsächlich im Werkzeug herrschende Druck wird als Umschaltkriterium benutzt, was reproduzierbare Ergebnisse verspricht. Voraussetzung ist jedoch ein Sensor im Werkzeug und eine Steuerung mit den entsprechenden Eigenschaften. Ungenauer ist der Einspritzdruck als Kriterium, da die Meßstelle noch vor dem Werkzeug liegt und nur die Rückwirkungen auf den Spritzdruck protokolliert. Die weg- bzw. zeitabhängigen Methoden sind beide nur gesteuerte Prozesse, wobei die wegabhängige Umschaltung zu bevorzugen ist.

Prozeß anfahren

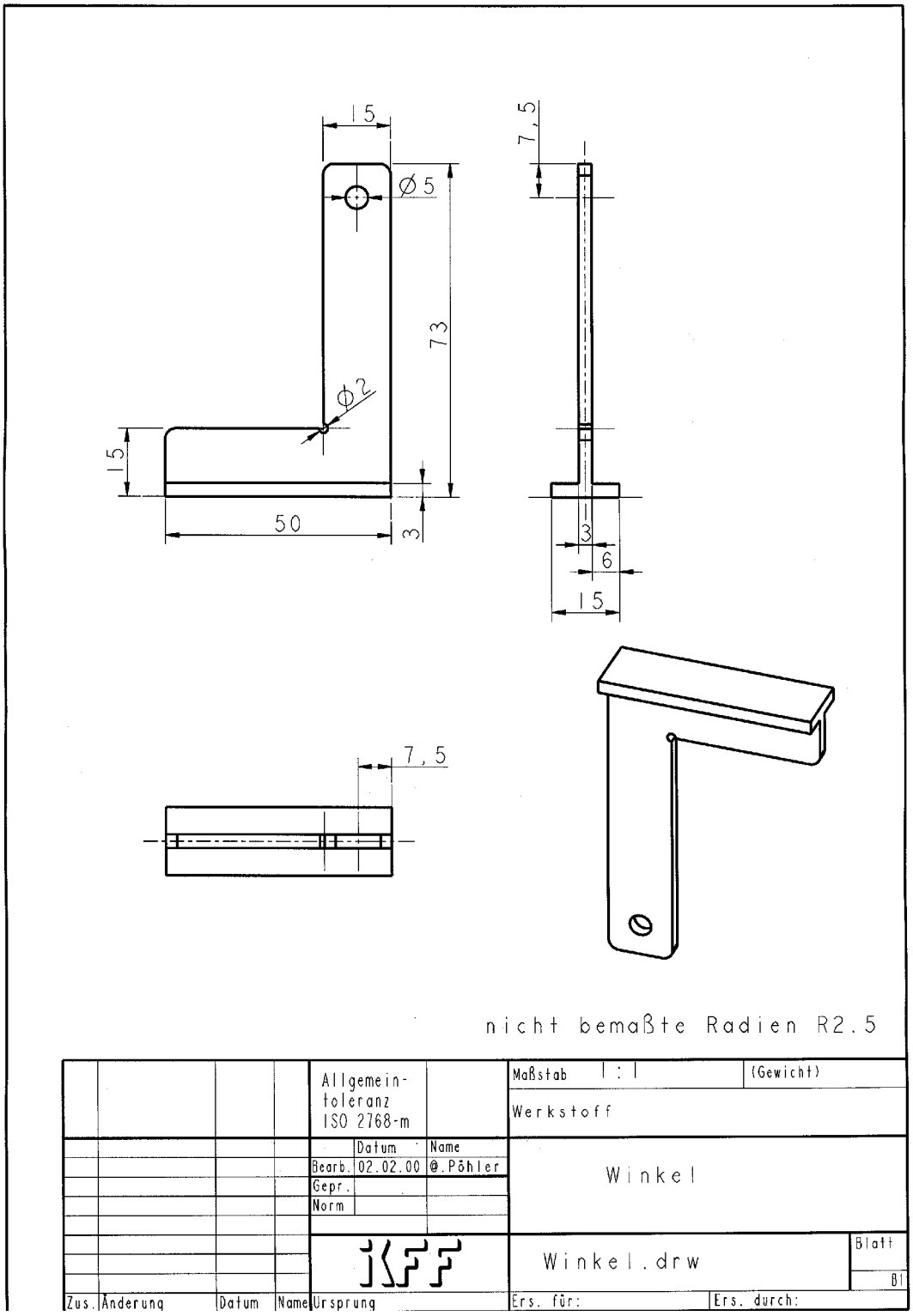
Prinzipiell wird folgendermaßen vorgegangen:

- O Kühlzeit einstellen
- O Einstellen des ermittelten mittleren Spritzdrucks
- O Einspritzvolumen = 85% des ermittelten Volumens des Spritzteils
- O erste Teile im Einzelbetrieb abformen
- O Automatikablauf anstreben
- O Einspritzvolumen bis zur vollständigen Formteilfüllung in kleinen Schritten erhöhen:
  - erkennbar am ansteigenden Spritzdruck, bzw. am Werkzeuginnendruckverlauf oder am Füllgrad des Teils.
  - Abwiegen der Teile, sobald beim Erhöhen des Einspritzvolumens keine Gewichtszunahme mehr erfolgt, ist die vollständige Formteilfüllung erreicht.
- O Massepolster etwa 1 cm^3 (Schneckendurchmesser 18 mm)
  Dosiervolumen = Einspritzvolumen + 1 cm^3
- O Einstellen des Nachdrucks

Prozeß optimieren

Sind die oben aufgeführten Einstellungen erfolgt und ein automatischer Ablauf erreicht, beginnt die Optimierung des Spritzgießprozesses. Über Variationen der Einspritzparameter, Temperaturen bzw. Zeiten wird versucht, ein qualitativ ausreichendes Bauteil bei einer wirtschaftlich kurzen Zykluszeit zu erhalten.

6 Anhang: Datenblätter



6.1 Richtwerte für die Schließkraft (Zuhaltekraft)

	Spritzgieß-masse	Richtwerte für die spezifische Schließkraft	Erfahrungswerte für den Werkzeug-Innendruck, die den Schließkraft-Richtwerten zugrunde liegen:
		kN/cm²	bar
amorph	PS	1,5 ... 3,5	150 ... 350
	SB	2,0 ... 4,0	200 ... 400
	SAN	2,5 ... 4,5	250 ... 450
	ABS	3,0 ... 5,5	300 ... 550
	PVC hart	2,5 ... 5,0	250 ... 500
	PVC weich	1,5 ... 3,0	150 ... 300
	CA CAB	2,5 ... 4,5	250 ... 450
	CP	2,0 ... 3,5	200 ... 350
	PMMA	3,5 ... 5,5	350 ... 550
	PPE mod. (PPO mod.)	3,5 ... 6,0	350 ... 600
	PC PAR	3,5 ... 6,5	350 ... 650
	PSU / PES	4,0 ... 6,0	400 ... 600
	PEI	3,5 ... 6,5	350 ... 650
	PAI	4,5 ... 7,5	450 ... 750
teilkristallin	PE weich PE hart	2,0 ... 6,0	200 ... 600
	PP	3,0 ... 6,5	300 ... 650
	PA4.6	4,5 ... 7,5	450 ... 750
	PA6	3,5 ... 5,5	350 ... 550
	PA6.6	4,5 ... 7,5	450 ... 750
	PA6.10	3,0 ... 5,0	300 ... 500
	PA11, PA12	3,5 ... 5,5	350 ... 550
	PA amorph	3,5 ... 4,5	350 ... 450
	POM	5,5 ... 10,5	550 ... 1050
	PET (PETP)	4,5 ... 7,5	450 ... 750
	PBT (PBTP)	4,0 ... 7,0	400 ... 700
	PPS	3,5 ... 6,5	350 ... 650
	FEP ETFE	3,0 ... 6,0	300 ... 600
	PAA PPA	3,0 ... 7,0	300 ... 700
	PAEK		
	LCP	3,0 ... 8,0	300 ... 800
Duropl. Elastom	Duroplaste	2,0 ... 6,0	200 ... 600
	TBE-U	2,0 ... 4,5	200 ... 450
	LSR	0,8 ... 2,5	80 ... 250

Die einzustellende Zuhaltekraft (Schließkraft) läßt sich aus der spez. Schließkraft und der auf die Trennebene projizierten Spritzteilfläche errechnen.

Richtwerte für die Einspritzzeiten
für niedrig-, mittel- und hochviskose Massen

Einspritzvolumen ccm	Einspritzzeit in s		
	niedrigviskos	mittelviskos	hochviskos
1 . . . 8	0,2 . . . 0,4 s	0,25 . . . 0,5 s	0,3 . . . 0,6 s
8 . . . 15	0,4 . . . 0,5 s	0,5 . . . 0,6 s	0,6 . . . 0,75 s
15 . . . 30	0,5 . . . 0,6 s	0,6 . . . 0,75 s	0,75 . . . 0,9 s
30 . . . 50	0,6 . . . 0,8 s	0,75 . . . 1,0 s	0,9 . . . 1,2 s
50 . . . 80	0,8 . . . 1,2 s	1,0 . . . 1,5 s	1,2 . . . 1,8 s
80 . . . 120	1,2 . . . 1,8 s	1,5 . . . 2,2 s	1,8 . . . 2,7 s
120 . . . 180	1,8 . . . 2,6 s	2,2 . . . 3,2 s	2,7 . . . 4,0 s
180 . . . 250	2,6 . . . 3,5 s	3,2 . . . 4,4 s	4,0 . . . 5,4 s
250 . . . 350	3,5 . . . 4,6 s	4,4 . . . 6,0 s	5,4 . . . 7,2 s
350 . . . 550	4,6 . . . 6,5 s	6,0 . . . 8,0 s	7,2 . . . 9,5 s

$1\,ccm \approx 1\,g$

Viskosität	Kunststoffarten
niedrig	PE weich, PA 4.6, PA 6, PA 6.6, PA 6.10, PA 11, POM, PET, PBT, PPS, TPE
mittel	PS, SB, SAN, ABS, PPO mod., PVC weich, CA, CAB, CP, PE hart, PP, PA 12, PA amorph
hoch	PVC hart, PMMA, PC, PSO, PES, PEI, PAI PVDF, FEP, ETFE

Richtwerte für Drücke
Einspritzdruck, Nachdruck, Werkzeug-Innendruck, Staudruck

6.2
6.2.1

6.2.1 Richtwerte für Einspritzdruck, Nachdruck, Innendruck, Staudruck

	Spritzgieß-masse	Einspritz-druck (soll) bar	Nachdruck (soll) bar	Werkzeuginnendruck angußnah gemessen bar		Staudruck (soll) bar	Bemerk. (Fußnoten	Spez. Gewicht (g/cm³)
amorphe Thermopl.	PS	650 - 1550	300 - 700	0,75...0,5	150... 350	40 - 80 **		1,05
	SB	650 - 1550	350 - 800	x höchste	200... 400	40 - 80 **		1,04
	SAN	650 - 1550	350 - 900	Nach-	250... 450	40 - 80 **		1,08
	ABS	650 - 1550	400 - 900	druckstufe	300... 550	40 - 80 **		1,03 - 1,07
	PVC hart	1000 - 1550	500 - 900	0,6 ...0,4	250... 500	40 - 80 ***	5) 7) 8)	1,38 - 1,40
	PVC weich	400 - 1550	300 - 600	0,75...0,5	150... 300	40 - 80 **	5) 8)	1,20 - 1,35
	CA	650 - 1350	300 - 650	0,85...0,7	250... 450	40 - 80 **	8)	1,26 - 1,32
	CAB	650 - 1350	300 - 900	0,75...0,5	250... 450	40 - 80 **	8)	1,16 - 1,22
	CP	650 - 1350	400 - 700		200... 350	40 - 80 **	8)	1,19 - 1,23
	PMMA	1000 - 1400	500 - 1150	0,6 ...0,4	350... 550	80 - 120 ***		1,18
	PPE/PPO mod.	1000 - 1600	600 - 1200	0,75...0,5	350... 600	60 - 90 **		1,06 - 1,10
	PC	1000 - 1600	600 - 1300		350... 650	80 - 120 ***		1,20 - 1,24
	PAR	1000 - 1600	600 - 1300	0,6 ...0,4	350... 650	80 - 120 ***		1,2
	PSU/PES	900 - 1400	500 - 1100		400... 600	80 - 120 ***		1,27 / 1,37
	PEI	750 - 1500	400 - 750	0,85...0,7	350... 650	40 - 80 *		1,87
	PAI	750 - 1550	500 - 1050		450... 750	40 - 80 *		1,38
teilkristalline Thermopl.	PE weich	600 - 1350	300 - 800	0,85...0,7	200... 600	40 - 80 *		0,91 - 0,93
	PE hart	600 - 1350	300 - 800	0,75...0,5	200... 600	60 - 90 **		0,94 - 0,96
	PP	800 - 1400	500 - 1100		300... 650	60 - 90 **		0,9
	PA.4.6	650 - 1550	550 - 1050		450... 750	40 - 80 *	8)	1,18
	PA6	450 - 1550	400 - 750	0,85...0,7	350... 550	40 - 80 *	8)	1,13
	PA6.6	650 - 1550	550 - 1050		450... 750	40 - 80 *	8)	1,14
	PA6.10	450 - 1550	350 - 750		300... 500	40 - 80 *	8)	1,06
	PA11	450 - 1550	400 - 800		350... 550	40 - 80 *	8)	1,04
	PA12	550 - 1550	450 - 1000	0,75...0,5	350... 550	60 - 90 **		1,02
	PA amorph	900 - 1300	450 - 800		350... 450	60 - 90 **		1,12
	POM	800 - 2000	700 - 1500		550...1050	40 - 80 *	5) 8)	1,41 - 1,42
	PET	800 - 1500	550 - 1050	0,85...0,7	450... 750	60 - 90 *		1,34 - 1,37
	PBT	800 - 1550	500 - 1000		400... 700	40 - 80 *		1,29
	PPS	750 - 1500	400 - 750		350... 650	40 - 80 *		1,34
	FEP	1000 - 1500	500 - 1000	0,6 ...0,4	300... 600	80 - 120 ***	5)	2,14 - 2,17
	ETFE	1000 - 1500	500 - 1000		300... 600	80 - 120 ***	5)	1,70
	PAA	1000 - 1500	350 - 800	0,85...0,7	300... 700	40 - 80 *		1,43 - 1,64
	PPA	700 - 1500	350 - 800	...	300... 700	40 - 80 *		1,26 - 1,56
	PAEK	800 - 1500	450 - 800		400... 700	60 - 90 **		1,27 - 1,49
	LCP	400 - 1500	350 - 1000	0,85...0,7	300... 800	40 - 80 *		1,1 - 1,8
Duroplaste Elastomere	Duroplaste	800 - 2500	300 - 1000	0,6 ...0,4	200... 600	40 - 80 ***		1,2 - 2,0
	TPE-U	400 - 1000	300 - 600	0,85...0,7	200... 450	30 - 60 *		1,14 - 1,26
	LSR	300 - 800	120 - 350	0,85...0,7	80... 250	20 - 60 *		1,86 - 1,88

5) keine Verschlußdüse verwenden, nur offene Düse!
7) nur ohne Rückstromsperre arbeiten!
8) nur mit geringem Staudruck arbeiten!

niedrigviskos *
mittelviskos **
hochviskos ***

Wasser	1,00
Kohlefas.	1,75 - 1,9
Glasfaser	2,49 - 2,52

Kühlzeiten, materialabhängige Richtwerte bei teilkristallinen Thermoplasten

6.3.2 (4)

Die materialabhängigen Richtwerte für die Kühlzeit tkn beziehen sich auf Werkzeugtemperaturen im unteren Drittel des empfohlenen Bereichs

Wand-dicke	allg. Richtw.	materialabhängige Richtwerte tkn/s							Wand-dicke
d/mm	tkn/s	PE-weich	PE-hart PP	PA	POM	PBT			d
0,5	1,0	-	1,8	1,3	1,3	1,3			0,5
0,8	1,9	2,4	2,6	2,4	2,4	2,4			0,75
1,0	3,0	3,7	4,5	3,8	3,8	3,7			1,0
1,1	3,5	4,2	5,0	4,4	4,5	4,4			1,1
1,2	4,1	4,2	5,6	4,9	5,0	4,9			1,2
1,3	4,7	5,3	6,2	5,5	5,7	5,5			1,3
1,4	5,3	5,9	7,0	6,2	6,5	6,2			1,4
1,5	6,0	6,6	7,9	6,9	7,2	6,8			1,5
1,6	6,7	7,4	8,6	7,7	8,1	7,5			1,6
1,7	7,5	8,0	9,4	8,5	8,9	8,1			1,7
1,8	8,3	8,8	10,1	9,3	9,8	8,9			1,8
1,9	9,1	9,7	11,1	10,3	10,8	9,7			1,9
2,0	10,0	10,6	12,1	11,1	11,7	10,4			2,0
2,1	10,9	11,5	13,2	12,0	12,8	11,3			2,1
2,2	11,9	12,4	14,3	12,9	13,8	12,1			2,2
2,3	12,9	13,4	15,1	13,9	14,9	13,0			2,3
2,4	13,9	14,4	16,2	14,9	16,1	14,0			2,4
2,5	15,0	15,5	17,3	15,8	17,2	14,9			2,5
2,6	16,1	16,5	18,4	16,9	18,5	15,9			2,6
2,7	17,3	17,6	19,5	17,9	19,6	16,8			2,7
2,8	18,5	18,8	20,8	19,0	20,9	17,8			2,8
2,9	19,7	19,9	22,0	20,0	22,3	18,8			2,9
3,0	21,0	21,1	23,3	21,2	23,5	19,7			3,0
3,1	22,3	22,4	24,4	22,5	25,0	20,9			3,1
3,2	23,7	23,7	25,8	23,7	26,3	21,9			3,2
3,3	25,1	25,0	27,2	25,0	27,7	23,1			3,3
3,4	26,5	26,4	28,7	26,2	29,3	24,3			3,4
3,5	28,0	27,8	20,2	27,6	30,7	25,5			3,5
3,6	29,5	28,2	31,8	28,9	32,6	26,8			3,6
3,7	31,1	30,6	33,3	30,3	33,7	28,0			3,7
3,8	32,7	32,2	34,9	31,7	35,3	29,4			3,8
3,9	34,3	33,7	36,6	33,2	37,0	30,8			3,9
4,0	36,0	35,3	38,3	34,7	38,5	32,2			4,0
4,1	37,7	36,8	40,1	36,3	40,2	33,7			4,1
4,2	39,8	38,4	41,9	38,0	41,9	35,2			4,2
4,3	41,3	39,9	43,7	39,7	43,6	36,8			4,3
4,4	43,1	41,6	46,0	41,4	45,3	38,4			4,4
4,5	45,0	43,3	47,3	43,2	47,1	40,1			4,5
4,6	46,9	45,0	49,0	45,0	48,0	41,1			4,6
4,7	48,9	46,9	50,7	46,9	50,8	43,5			4,7
4,8	50,9	48,6	52,4	48,8	52,7	45,2			4,8
4,9	52,9	50,5	54,2	50,7	54,6	47,0			4,9
5,0	55,0	52,4	56,1	52,7	56,6	48,8			5,0
5,1	57,1	54,3	58,0	54,7	58,6	50,7			5,1
5,2	59,4	56,3	60,1	56,7	60,7	52,6			5,2
5,3	61,5	58,2	62,3	58,8	62,6	54,5			5,3
5,4	63,7	60,2	64,6	60,9	64,6	56,5			5,4
5,5	66,0	62,2	66,9	63,1	66,8	58,4			5,5
5,6	68,3	64,3	69,2	65,2	69,0	60,5			5,6
5,7	70,7	66,3	71,5	67,5	71,3	62,5			5,7
5,8	73,1	68,4	73,9	69,7	73,6	64,7			5,8
5,9	75,5	70,5	76,4	72,0	75,9	66,8			5,9
6,0	78,0	72,7	78,8	74,8	78,4	68,3			6,0
6,1	80,5	74,9	81,3	76,7	80,8	71,2			6,1
6,2	83,1	77,0	83,9	79,1	83,4	73,4			6,2
6,3	85,7	79,3	86,5	81,5	85,9	75,7			6,3
6,4	88,3	81,6	84,0	84,0	88,5	78,0			6,4
6,5	91,0	89,9	91,6	86,5	91,2	80,3			6,5

Nachdruckzeit t_n = 0,3 · Kühlzeit t_{kn}

Kühlzeiten, materialabhängige Richtwerte bei amorphen Thermoplasten

6.3.2 (3)

Die materialabhängigen Richtwerte für die Kühlzeit beziehen sich auf Werkzeugtemperaturen im unteren Drittel des empfohlenen Bereichs

Wand-dicke	allg. Richtw.	materialabhängige Richtwerte tkn/s							Wand-dicke
d/mm	tkn/s	PS, SAN	SB ABS	PVC-hart	PMMA	PC			d
0,5	1,0	1,0	1,1	-	1,2	1,2			0,5
0,75	1,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,2			0,75
1,0	3,0	3,0	3,2	3,3	3,6	3,5			1,0
1,1	3,5	3,5	3,8	3,7	4,2	4,0			1,1
1,2	4,1	4,0	4,3	4,3	4,8	4,6			1,2
1,3	4,7	4,7	4,9	4,8	5,4	5,3			1,3
1,4	5,3	5,2	5,6	5,4	6,2	5,9			1,4
1,5	6,0	5,8	6,3	6,1	7,0	6,7			1,5
1,6	6,7	6,6	7,0	6,7	7,7	7,4			1,6
1,7	7,5	7,1	7,8	7,4	8,4	8,6			1,7
1,8	8,3	7,9	8,5	8,2	9,2	8,0			1,8
1,9	9,1	8,6	9,4	8,9	10,2	9,8			1,9
2,0	10,0	9,3	10,3	9,9	11,4	10,7			2,0
2,1	10,9	10,2	11,2	10,7	12,6	11,7			2,1
2,2	11,9	11,0	12,0	11,8	13,5	12,6			2,2
2,3	12,9	11,9	13,0	12,6	14,6	13,6			2,3
2,4	13,9	12,8	14,0	13,7	15,9	14,7			2,4
2,5	15,0	13,7	15,0	14,7	16,9	15,6			2,5
2,6	16,1	14,7	16,1	15,7	18,2	16,8			2,6
2,7	17,3	15,6	17,1	16,8	19,4	17,8			2,7
2,8	18,5	16,6	18,3	17,8	20,7	19,0			2,8
2,9	19,7	17,6	19,4	19,8	22,0	20,1			2,9
3,0	21,0	18,6	20,6	20,1	23,3	21,4			3,0
3,1	22,3	19,8	21,8	21,0	24,8	22,6			3,1
3,2	23,7	20,8	23,1	22,4	26,1	23,9			3,2
3,3	25,1	22,1	24,3	23,6	27,6	25,1			3,3
3,4	26,5	23,2	25,6	24,9	29,1	26,5			3,4
3,5	28,0	24,5	26,9	26,3	30,5	27,8			3,5
3,6	29,5	25,8	28,2	27,6	32,1	29,2			3,6
3,7	31,1	27,1	29,6	29,0	33,6	30,6			3,7
3,8	32,7	28,5	30,9	30,9	35,2	32,0			3,8
3,9	34,3	29,9	32,4	31,9	36,9	33,4			3,9
4,0	36,0	31,4	33,8	33,4	38,5	34,9			4,0
4,1	37,7	32,8	35,3	35,0	40,2	36,4			4,1
4,2	39,8	34,3	37,2	36,5	42,0	38,3			4,2
4,3	41,3	35,8	38,4	38,2	43,5	39,5			4,3
4,4	43,12	37,3	39,9	39,8	45,5	41,1			4,4
4,5	45,0	39,1	41,5	41,5	47,4	42,7			4,5
4,6	46,9	40,7	43,1	43,3	49,2	44,3			4,6
4,7	48,9	42,4	44,8	45,0	51,2	46,0			4,7
4,8	50,9	44,1	46,5	46,8	53,1	47,8			4,8
4,9	52,9	45,9	48,2	48,6	55,1	49,5			4,9
5,0	55,0	47,6	49,9	50,4	57,1	51,4			5,0
5,1	57,1	49,4	51,7	52,4	59,2	53,2			5,1
5,2	59,4	51,3	53,7	54,4	61,3	55,2			5,2
5,3	61,5	53,1	55,4	56,3	63,4	57,1			5,3
5,4	63,7	54,8	57,3	58,3	65,6	59,0			5,4
5,5	66,0	57,0	59,2	60,4	67,8	61,1			5,5
5,6	68,3	59,0	61,3	62,5	70,2	63,6			5,6
5,7	70,7	61,0	63,2	64,4	72,6	65,3			5,7
5,8	73,1	63,0	65,8	66,8	75,7	67,4			5,8
5,9	75,5	65,1	67,4	68,8	77,5	69,6			5,9
6,0	78,0	67,1	69,5	71,2	80,0	71,8			6,0
6,1	80,5	69,2	71,7	73,4	82,5	74,1			6,1
6,2	83,1	71,4	74,0	75,7	85,1	76,4			6,2
6,3	85,7	73,6	76,3	78,1	87,7	78,7			6,3
6,4	88,3	75,9	78,7	80,4	90,4	81,1			6,4
6,5	91,0	78,1	80,9	82,8	93,1	83,5			6,5

Nachdruckzeit $t_n = 0{,}3 \cdot$ Kühlzeit t_{kn}