

Hinweise Spritzgiessen

EMS-Polyamide

Grilamid (PA12, PA amorph)

Grivory (partiell aromatisches PA)

Grilon (PA 6, PA 66)

Grilamid-, Grivory- und Grilon-Typen lassen sich mit handelsüblichen Spritzgiessmaschinen und Thermoplast-Spritzgiesswerkzeugen in wirtschaftlicher Weise zu Formteilen verarbeiten.

Das vorliegende technische Merkblatt gibt Informationen über die wichtigsten Bestandteile einer Spritzgiessmaschine und über die Auslegung von Spritzgiesswerkzeugen für Polyamide. Zusätzlich sind wichtige Informationen über die Spritzgiessverarbeitung aufgeführt.

Inhaltsverzeichnis

1. Spritzgiessmaschine	3
1.1 Plastifiziereinheit	3
Schnecke	3
Rückstromsperre	3
Zylinder	4
Düse	4
2. Spritzgusswerkzeug	6
Anguss- und Anschnittgestaltung	6
Werkstoffauswahl für Spritzgusswerkzeuge	9
Oberflächenbeschichtungen	9
Entformungsschräge	10
Entlüftungen	10
Werkzeugkühlung	11
Auswerfen / Entformen	12
Wartung von Spritzgiesswerkzeugen	12
Formteilkgestaltung	13
3. Spritzgiessverarbeitung	14
Lieferform & Materialvorbereitung	14
Auswahl der Spritzgiessmaschine	15
Verarbeitungstemperaturen	15
Einspritzgeschwindigkeit und Nachdruck	17
Schneckendrehzahl / Staudruck	18
Kühlzeit	18
Dosierweg	19
Restmassepolster	19
Berechnung der Verweilzeit	19

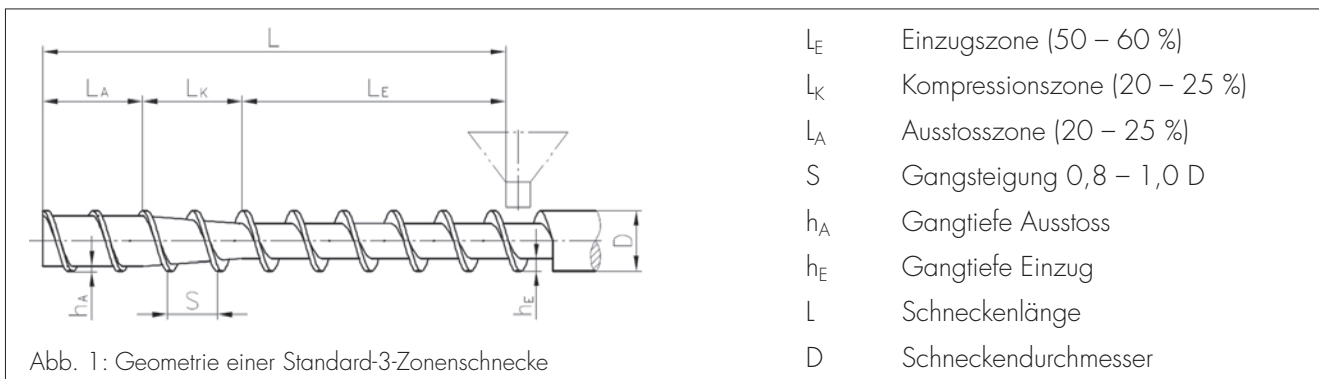
1. Spritzgiessmaschine

Im Folgenden wird nur auf die Bauteile einer Spritzgiessmaschine eingegangen, die für eine werkstoffgerechte Verarbeitung von Grilamid-, Grivory und Grilon-Spritzgiessstypen wichtig sind.

1.1 Plastifiziereinheit

Schnecke

Bewährt haben sich die gängigen Standard-3-Zonenschnecken mit einem L/D-Verhältnis von 18:1 bis 22:1 und einem Gangtiefenverhältnis von 2:1 bis 2,5:1.



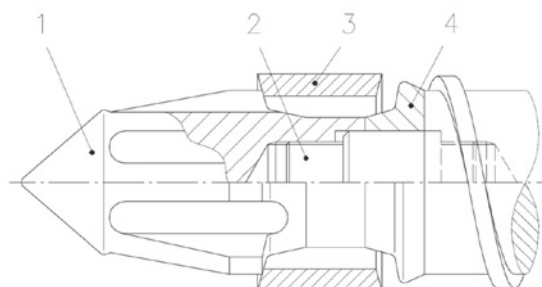
Gangtiefen und Gangtiefenverhältnis (Richtwerte für Polyamide)

Schnecken-Durchmesser D	Gangtiefe Einzug h_E Amorph	Gangtiefe Einzug h_E Teilkristallin	Gangtiefe Ausstoss h_A	Gangtiefenverhältnis Amorph	Gangtiefenverhältnis Teilkristallin
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]		
30	4.3	4.3	2.1	2.0 : 1	2.0 : 1
40	5.4	5.4	2.6	2.1 : 1	2.1 : 1
60	7.4	7.4	3.4	2.2 : 1	2.2 : 1
80	9.1	7.6	4.0	2.3 : 1	1.9 : 1
100	10.8	9.1	4.6	2.4 : 1	2.0 : 1
120	12.0	10.4	5.0	2.4 : 1	2.1 : 1
150	14.0	11.0	5.6	2.5 : 1	2.0 : 1

Rückstromsperre

Bei der Verarbeitung von Grilamid, Grivory und Grilon muss eine Schnecke mit Rückstromsperre eingesetzt werden, um den nötigen Spritz- und Nachdruck aufbauen zu können.

Standard sind Ring-Rückstromsperren. Aber auch hier gibt es für bestimmte Materialien und Anwendungen spezielle Rückstromsperren wie z.B. Kugel- & Mehrkugel- und zwangsschliessende Rückstromsperren.



1. Schneckenspitze
2. Bolzen
3. Sperring
4. Druckring

Abb. 2: Ring-Rückstromsperre

Zylinder

Die für das Aufschmelzen des Kunststoffes notwendige Wärme wird durch die Friktion der Schmelze zwischen Schnecke und Zylinderwand sowie über die Zylinderheizung aufgebracht. Die Länge des Zylinders soll in mindestens drei Heizzonen aufgeteilt sein, wobei jedes der Heizbänder über ein separates Thermoelement geregelt wird. Die Heizleistung der Bänder muss zwischen 3 und 5 W/cm² betragen, um Temperaturen bis 400 °C zu erreichen.

Werkstoffe für Schnecke, Zylinder und Rückstromsperre

	Verschleissfest	Hochverschleissfest
Schnecke	Hochchromhaltiger Stahl z.B. X155CrMoV12 1 (1.2379) oder X230CrVMo13 4 (1.2380)	Hochlegierter PM (pulvermetallurgischer) Stahl z.B. Böhler M390 Microclean
Zylinder	Bimetall Zylinder	Wolframcarbid (WC) verstärkter Bimetall Zylinder
Rückstromsperre	Hochlegierter Werkzeugstahl	Hochlegierter PM (pulvermetallurgischer) Stahl z.B. Böhler M390 Microclean
Einsatzgebiet	Unverstärkte Polyamide oder mit Füllstoffgehalt < 30 % und schwacher Korrosionsneigung	Polyamide mit hohem Füllstoffgehalt (≥ 30 %) und erhöhter Korrosionsneigung

Für die Ausführungen empfehlen wir den Kontakt mit dem jeweiligen Maschinenlieferanten. Je nach Anforderungen macht eine zusätzliche PVD-Beschichtung Sinn.

Düse

Generell können für die Verarbeitung von Grilamid-, Grivory und Grilon-Spritzgiesstypen offene Düsen und Verschlussdüsen eingesetzt werden. Von der Materialseite werden offene Düsen bevorzugt.

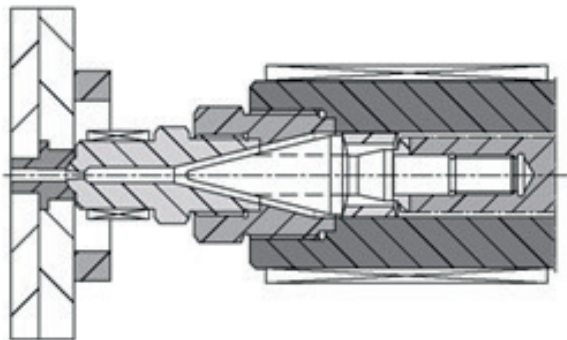


Abb. 3: offene Düse

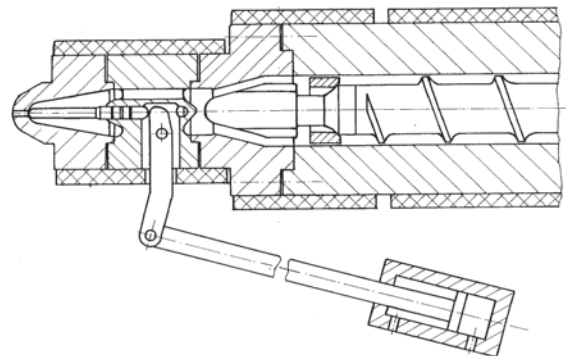


Abb. 4: Nadelverschlussdüse

- + geringer Fließwiderstand
- + einfache Reinigung
- Fadenziehen / Einfrieren
- Heraustropfen Schmelze
- Dosierung Düse anliegend

- + Dosierung Düse abgehoben
- + kein Heraustropfen Schmelze
- + kein Fadenziehen / Einfrieren
- höherer Fließwiderstand
- Scherung, strömungstote Bereiche

Übergang Angussbuchse/Maschinendüse

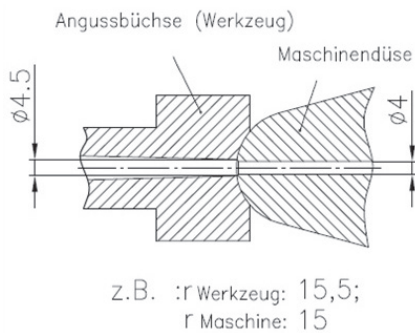


Abb. 5: Radiusdüse

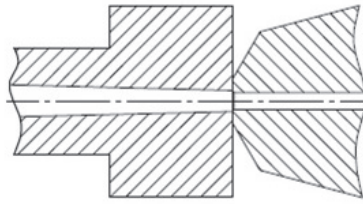


Abb. 6: Flachdüse

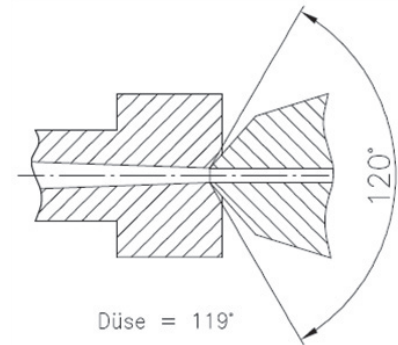


Abb. 7: Kegelförmige Düse

Radiusdüsen

Bei Radiusdüsen muss der Radius der Werkzeuggesteuerdüse etwas grösser sein als der Radius der Maschinendüse ($R_{\text{Werkzeug}} > R_{\text{Maschine}}$). Dadurch wird die Kontaktfläche verringert, die Flächenpressung erhöht und Hinterschnitten vorgebeugt. Die Düsen zentrieren sich selbst.

Flachdüsen

Flachdüsen sind einfach herzustellen und leicht nachzuarbeiten. Sie zentrieren sich jedoch nicht selbst mit der Werkzeuggesteuerdüse. Bei einem Versatz der Bohrung entsteht ein Hinterschnitt und der Fließwiderstand wird erhöht.

Kegeldüsen

Düsen mit kegelförmiger Kontaktfläche sind leicht nachzuarbeiten und zentrieren sich selbst. Üblich sind Kegelwinkel von 120° für die Angussbuchse und 119° für die Düsen spitze.

Details betreffend der Werkstoffauswahl und Design von Schnecke, Düse, Rückstromsperre, Zylinder und Düse sind immer mit dem Spritzgiessmaschinenlieferanten abzustimmen.

2. Spritzgusswerkzeug

Das Spritzgusswerkzeug hat im gesamten Spritzgiessprozess eine grosse Bedeutung. Nur eine richtig ausgelegte Werkzeugkonstruktion garantiert...

- die geforderte Formteilqualität
- eine störungsfreie Produktion
- kurze Zyklen
- eine lange Standzeit des Werkzeuges
- die vorbestimmten Materialeigenschaften
- eine wirtschaftliche Produktion

Konstruktionsfehler können zwar bedingt durch die Einstellparameter der Spritzgiessmaschine kompensiert werden, schränken den Verarbeitungsspielraum jedoch ein und gehen auf Kosten der oben genannten Punkte. Für das Auslegen der Werkzeuge gelten die für Thermoplaste üblichen Richtlinien. Richtgrösse für die mechanische Belastung (Biegung, Stauchung) ist ein wirksamer Werkzeuginnendruck von max. 800 bar. Für die formbildenden Bereiche genügen übliche verschleissfeste Werkzeugstähle (auf ca. 50–65 HRC gehärtet).

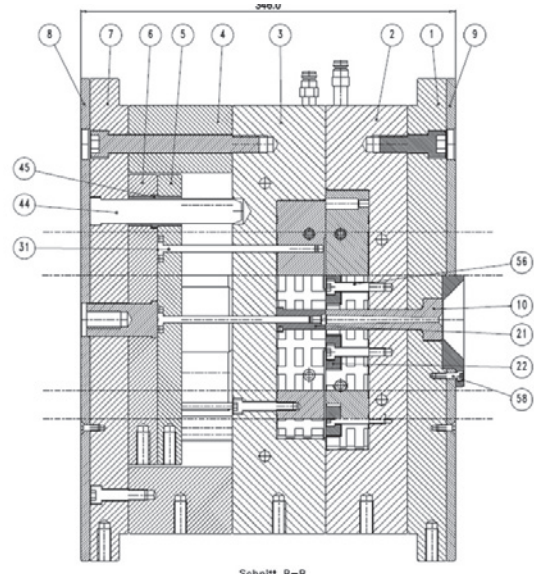


Abb. 8: Spritzgusswerkzeug

Anguss- und Anschnittgestaltung

Angusskanal

Der präzisen Dimensionierung und Ausführung der Kanäle kommt somit sowohl hinsichtlich der Qualität der Formteile als auch der Wirtschaftlichkeit ihrer Fertigung grosse Bedeutung zu. Die folgende Übersicht zeigt eine Gegenüberstellung der gebräuchlichen Kanalquerschnitte.

Rundkanal

Vorteile:

Geringste Oberfläche bezogen auf den Querschnitt, geringste Abkühlung, geringste Wärme- und Reibungsverluste, Masse erstarrt im Zentrum eines runden Kanals zuletzt, dadurch gute Nachdruckwirkung

Nachteile:

Muss zu gleichen Teilen in beide Werkzeughälften eingearbeitet werden, dadurch schwierig und teuer

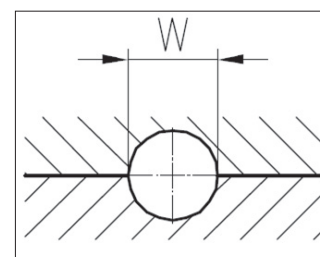


Abb. 9: Rundkanal

Parabelförmiger Kanal

Vorteile:

Gute Annäherung an Rundkanal, einfachere Herstellung, da Einarbeitung nur in einer Werkzeughälfte (Auswerferseite aus Entformungsgründen). Anwendung, wenn Schieber relativ zur Trennebene bewegt werden müssen.

Nachteile:

Wärmeverluste und Abfall etwas grösser gegenüber Rundkanal

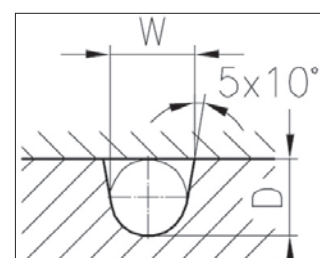


Abb. 10: Parabelförmiger Kanal

Trapezförmiger Kanal

Alternativlösung zum parabelförmigen Kanal

Nachteile:

Wärmeverluste und Abfall grösser gegenüber parabelförmigem Kanal

Es gelten die folgenden Richtwerte:

Angusskanaldurchmesser = 1,4 x grösste Teilwanddicke

- minimal 4 mm Durchmesser
- maximal ca. 12 mm Durchmesser

Heisskanalsystem

Eine Besonderheit bei den Angussystemen stellt das Heisskanalsystem dar da das Material im Schmelzzustand bis zum Formnest eingespritzt wird.

Die Vorteile des Heisskanals sind:

- keine Nacharbeit
- Einsparen des Angussmaterials
- einfachere Automatisierung
- es können längere Fliesswege realisiert werden

Aussenbeheizte Heisskanalsysteme haben den Vorteil einer genaueren Temperaturführung. Zudem weisen sie geringe Druckverluste auf und sind gut balancierbar.

Nur eine materialbezogene richtige Temperatureinstellung garantiert ein optimales Funktionieren des Heisskanals.

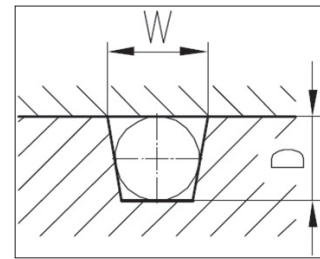


Abb. 11: Trapezförmiger Kanal

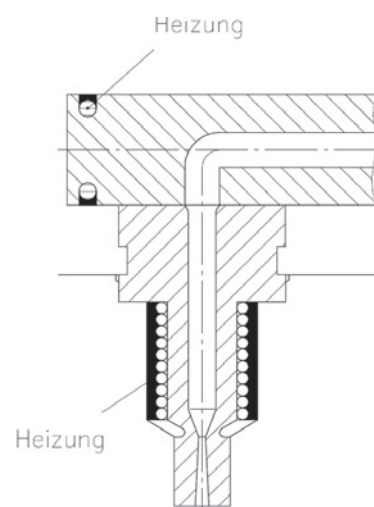


Abb. 12: offener Heisskanal

Heisskanaltemperaturen für EMS-GRIVORY Polyamide	[°C]
Grilamid L / 1S / 2S / 2D unverstärkt	240 – 290
Grilamid L verstärkt	240 – 280
Grilamid TR / TR verstärkt	260 – 300
Grivory G	270 – 310
Grivory HT	320 – 340
Grilon A/B unverstärkt	240 – 280
Grilon A/B verstärkt	250 – 300
Grilon TS unverstärkt	270 – 300
Grilon TS verstärkt	270 – 300

Zum Anfahren vom Heisskanal nach Stillständen muss die Temperatur je nach System eventuell kurzzeitig erhöht werden.

Anschnitt

Der Anschnitt ist der Übergang vom Angusskanal in die Formteil-Kavität. In den folgenden Abbildungen sind die gängigen Systeme mit Abmessungen dargestellt.

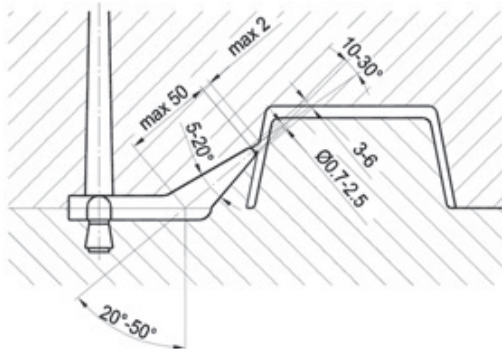


Abb. 13: Tunnelanschnitt

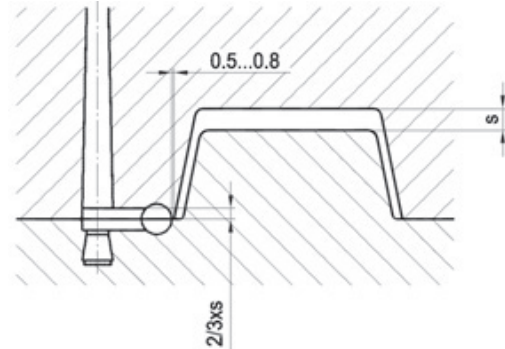


Abb. 14: Filmanschnitt

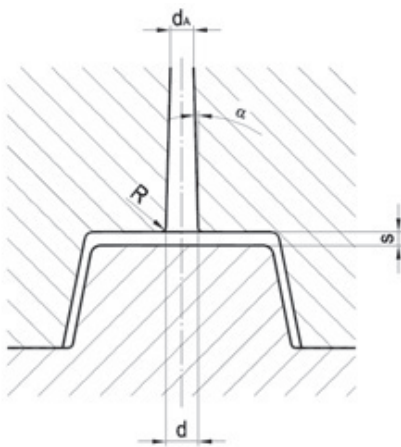


Abb. 15: Stangenanguss

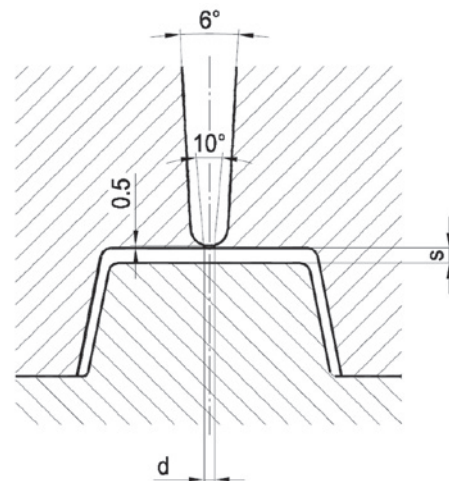


Abb. 16: Punktanschnitt

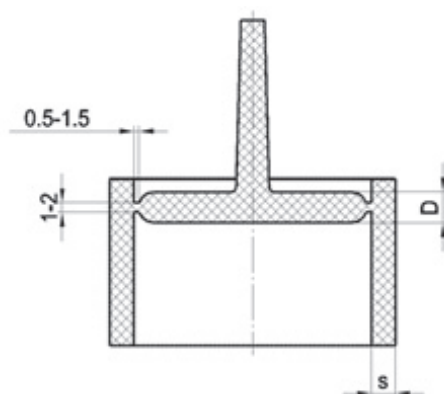


Abb. 17: Ringanschnitt

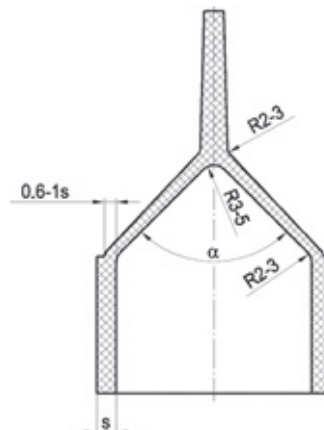


Abb. 18: Schirmanschnitt

Anschnittdurchmesser = $0,8 \times$ grösste Teilwanddicke

- minimal 1,5 mm Durchmesser
- maximal ist abhängig von der Auswerferlage und Schneidkantenfestigkeit bei Tunnelanschnitten: ca. 2mm

Auch die Lage des Punktanschnittes sollte im Bereich der grössten Wandstärke (Massenanhäufung) liegen. Freier Massestrahl ist zu vermeiden.

Werkstoffauswahl für Spritzgusswerkzeuge

Mit dem Ziel einer hohen Gebrauchstauglichkeit werden an die Werkstoffe zur Herstellung von Werkzeugen unterschiedliche Anforderungen gestellt:

- Hohe Verschleissfestigkeit
- Hohe Korrosionsbeständigkeit
- Hohe Massbeständigkeit
- Gute Wärmeleitfähigkeit

Durhhärtende Stähle

Für die Verarbeitung von Grilamid, Grivory und Grilon haben sich durhhärtbare Stähle wie 1.2343 oder 1.2767 bewährt. Diese zeigen einen sehr hohen Verschleisswiderstand und können grosse Druckbelastungen aufnehmen. Dies ermöglicht sehr hohe Schusszahlen.

Kurzname	Werkstoff-Nr.	Härte HRC	Anmerkungen
X38CrMoV51	1.2343	52 – 54	<ul style="list-style-type: none">• Warmarbeitsstahl, gehärtet, zäh• ESU für Hochglanzpolituren
X40CrMoV51	1.2344	52 – 54	<ul style="list-style-type: none">• Warmarbeitsstahl, gehärtet, zäh
X155CrVMo121	1.2379	61 – 63	<ul style="list-style-type: none">• Kaltarbeitsstahl, verschleissfest
X45NiCrMo4	1.2767	52 – 54	<ul style="list-style-type: none">• Kalt-Warmarbeit, gehärtet, gut polierbar

Korrosionsbeständige Stähle

Für korrosiv wirkende Werkstoffe empfiehlt sich daher das Verwenden korrosionsbeständiger Stähle. Ein Nitrieren korrosionsbeständiger Stähle sollte wegen der damit verbundenen Verschlechterung der Korrosionsbeständigkeit grundsätzlich unterbleiben.

Kurzname	Werkstoff-Nr.	Härte HRC	Anmerkungen
X42Cr13	1.2083	48 – 52	<ul style="list-style-type: none">• Kaltarbeitsstahl, korrosionsbeständig, gut polierbar
X38CrMo17	1.2316	~ 40	<ul style="list-style-type: none">• vorvergüteter Werkzeugstahl, korrosionsbeständig, gut polierbar

Die Auflistung der Werkzeugstähle ist frei gewählt. Wir empfehlen immer den Kontakt mit Kunststoffformenstahl-Spezialisten, insbesondere auch für Sonderstähle.

Oberflächenbeschichtungen

Zur Lösung von Verschleiss-, Reibungs- und Korrosionsproblemen werden verschiedene Oberflächenbehandlungsverfahren angewendet. Neben den bekannten thermochemischen (Nitrieren, Borieren) und galvanischen Verfahren (Hartverchromen, Vernickeln) gelangen Verfahren der Dünnschicht-Metallurgie wie die CVD- (Chemical Vapour Deposition) und PVD- (Physical Vapour Deposition) Technik zur Anwendung.

Verschiedene PVD-Beschichtungen haben sich für Spritzgusswerkzeuge bewährt.

Kontaktadressen für Beschichtungen:

Oerlikon Balzers Coating AG
Iramali 18
LI-9496 Balzers
www.oerlikon.com/balzers

Technologien Oerlikon	CrN	CrN-OX	AlCrN	TiAlN
Härte (HV 0.05)	2.500	2.500	3.200	3.400
Schichtdicke [μm]	4 – 10	4 – 10	2 – 4	8 – 12
Max. Anwendungstemp. [$^{\circ}\text{C}$]	700	700	1100	900
Beschichtungstemp. [$^{\circ}\text{C}$]	250 – 450	250 – 450	470	450
Schichtfarbe	silbergrau	regenbogen	blaugrau	violett-grau
Schichtaufbau	Multilayer	Multilayer & Deckschicht	Monolayer	Nanostruktur
Abrasion	++	++	+++	+++
Adhäsion	++	+	+	+
Korrosion	++	+	++	++
Entformung	++	+	++	+
Formfüllung	+	+	+	++
+ = bedingt geeignet ++ = gut geeignet +++ = sehr gut geeignet				

Entformungsschräge

Entformungskräfte entstehen durch Aufschumpfen, Klemmen, Adhäsion, Kleben oder Vakuumwirkung. Entformungsschrägen ermöglichen eine gute Entformbarkeit.

Die Entformungsschräge für unverstärkte Polyamide sollte mindestens $\geq 0.5^{\circ}$ und für glasfaserverstärkte Polyamide mindestens $\geq 0.75^{\circ}$ sein.

VDI 3400 [CH]	12	15	18	21	24	27
Rauhtiefe Ra [μm]	0.4	0.56	0.8	1.12	1.62	2.2
Entformungsschräge [$^{\circ}$]	1	1	1	1	1.5	1.5
Oberfläche (ISO/TC 213)	N5		N6		N7	

VDI 3400 [CH]	30	33	36	39	42	45
Rauhtiefe Ra [μm]	3.2	4.5	6.3	9	12.6	18
Entformungsschräge [$^{\circ}$]	1.5	2	2.5	3	4	5
Oberfläche (ISO/TC 213)	N8		N9		N10	

Entlüftungen

Die Schmelze muss während des Füllvorganges die im Formnest befindliche Luft möglichst schnell verdrängen können. Eingeschlossene Luft kann die vollständige Füllung des Formnestes verhindern. Durch die starke Kompression erwärmt sich die eingeschlossene Luft. Dies führt zur Verbrennung der Schmelze (Dieseleffekt). Da Polyamide zu den stark «dieselempfindlichen» Kunststoffen gezählt werden, ist eine gute Entlüftung des Werkzeuges wichtig.

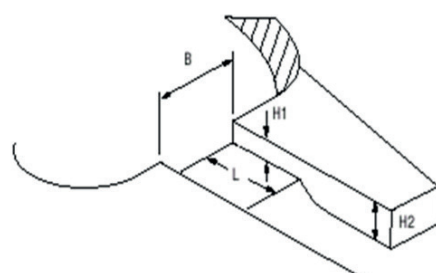


Abb. 19: Entlüftung via Trennebene

Die Luft sollte vorzugsweise immer zur Trennebene verdrängt werden. Ist dies nicht möglich, müssen zusätzliche Trennfugen angebracht werden.

Entlüftungen können auch durch geschicktes Trennen von Einsätzen oder Setzen von Entlüftungstiften realisiert werden. Eine bewährte Lösung ist das Platzieren eines Auswerfers am richtigen Ort.

Die Toleranzkombination H7/g6 lässt eine optimale Entlüftung zu. Für eine wirksame Entlüftung muss hinter den Entlüftungsspalt ein Abzugskanal angebracht werden.

Der Entlüftungsspalt (H1) für Polyamide soll nicht grösser sein als 0,02 (0,03) mm. Die Länge (l) beträgt 1,5 bis 2,5 mm. Dann mündet er in den Abzugskanal mit grossem Querschnitt (H2 = min. 0,5 mm) ein.

Entlüftungen müssen regelmässig gewartet und gereinigt werden, um ihre Funktion gewährleisten zu können.

Werkzeugkühlung

Die Werkzeugkühlung hat zum Ziel, eine möglichst gleichmässige Temperaturverteilung über die Kavitätsoberfläche zu garantieren. Nur durch eine gute thermische Auslegung des Spritzgiesswerkzeuges lässt sich eine hohe Formteilqualität bei kurzen Spritzzyklen erreichen.

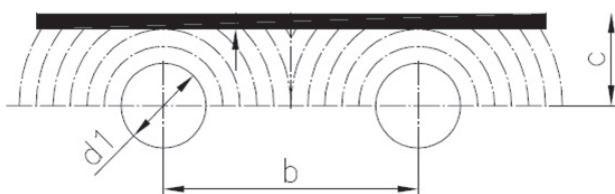


Abb. 20: ungleichmässige Wärmeabfuhr

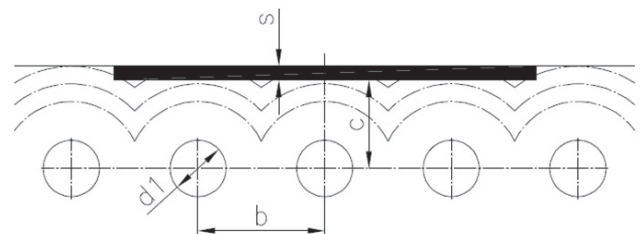


Abb. 21: gleichmässige Wärmeabfuhr

Aus den eingezeichneten Isothermen ist die unterschiedliche Abkühlung zu erkennen. Folglich sind die Kühlkanäle so nahe wie möglich bzw. so nahe, wie es die Beanspruchung des Werkzeugmaterials zulässt, an die formbildende Oberfläche zu legen. Die Kühlkanäle sind ebenfalls dicht nebeneinander zu legen.

Es gelten folgende Richtgrössen:

Wandstärke	Kanaldurchmesser d1	Bemerkungen
$s \leq 2\text{mm}$	8 – 10 mm	
$s \leq 4\text{mm}$	10 – 12 mm	$c = (2 - 3) \times d1$ $b \leq 3 \times d1$
$s \leq 6\text{mm}$	12 – 15 mm	

Bei der Werkzeugkonstruktion sollte der Kühlung Priorität vor den Auswerfer gegeben werden.

An Ecken muss analog zu Masseanhäufungen mehr Wärme abgeführt werden, was eine stärkere Kühlung nötig macht.

Eine Aufteilung in mehrere Kühlkreisläufe, vor allem bei Teilen mit unterschiedlichen Wandstärken, vergrössert den Handlungsspielraum während der Verarbeitung. Die Länge eines Kühlkreises ist so zu begrenzen, dass die Temperaturerhöhung zwischen Zu- und Ablauf maximal 5 °C, für Präzisionsteile maximal 1 °C beträgt.

Um eine möglichst gleichmässige Oberflächentemperatur der Werkzeugfläche zu erreichen, sollten die Kühlkanäle so angelegt sein, dass das Kühlmedium im Bereich der Anschnitte zugeführt und am Fließwegende abgeleitet wird.

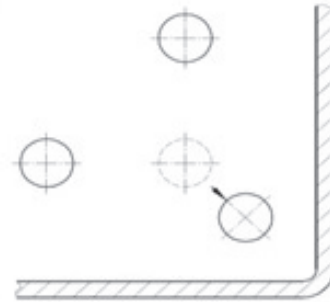


Abb. 22: Wärmeabfuhr Ecke

Auswerfen / Entformen

Nachfolgend sind die gebräuchlichsten Arten von Auswerfmöglichkeiten aufgelistet:

- Auswerferstifte (Rund, Flach, usw.)
- Auswerferhülse, Auswerferplatte bzw. Abstreifplatte
- Luftauswerfer

Auswerferstifte

Die verbreitetste und gebräuchlichste Art stellen sicher die Auswerferstifte dar. Die Gründe liegen im Preis sowie in der einfachen, wirkungsvollen Einbauweise. Worauf ist bei der Werkzeugkonstruktion hinsichtlich der Auswerfer zu achten?

1. Auswerfer wenn möglich nicht auf Sichtflächen anbringen, da deren Abdrücke fast immer sichtbar sind.
2. Sie sind an den Stellen, wo mit grossen Entformungswiderständen gerechnet werden muss, anzubringen, z.B. an Rippen (Rippenkreuzen), Ecken, Seitenwänden.
3. Werden flache Auswerfer eingesetzt, besteht die Gefahr des Knickens → freie Weglänge so kurz wie möglich.
4. Rückdrückstifte, Rückzugfedern für ein sicheres Rückziehen der Auswerfer, bevor die Form zuführt (Sicherheitsmassnahme)
5. Je mehr Auswerfer, desto besser die Kraftaufteilung → geringe Verzugsneigung der Teile.
6. Sind die Auswerfer profiliert, sind sie gegen Verdrehung zu sichern.

Auswerferhülse

Sie bieten den zusätzlichen Vorteil einer guten Entlüftung runder Teile.

Auswerferplatte

Ihr Vorteil liegt darin, dass sie auf eine grosse Fläche wirken können, was die spezifische Entformungskraft am Teil senkt. Diese Lösung ist indessen teurer als die mit Auswerferstiften. Anwendung finden sie deshalb bei geometrisch einfachen Teilen.

Luftauswerfer

Die Luftauswerfer werden oft in Kombination mit Auswerferstiften oder Platten eingesetzt. Sie können z.B. zwischen Werkzeugwandung und Spritzling ein kleines Luftpolster aufbauen, wodurch die Reibung verringert und somit auch die benötigte Entformungskraft reduziert wird (z.B. bei Filtertassen).

Wartung von Spritzgiesswerkzeugen

Spritzgiesswerkzeuge müssen nach Produktionsende gewartet werden. Entlüftungen, Auswerfer, Schieber, Kerne, Kühlkanäle usw. sind zu reinigen. Abschliessend ist das Werkzeug mit einem Formschutzmittel einzusprühen (Vermeidung von Korrosion). Dies empfiehlt sich auch bei längeren Maschinenstillstandzeiten (z.B. über Nacht).

Formteilgestaltung

Die Formteilgestaltung ist ein sehr komplexes Thema. Hier werden nur kurz die wichtigsten Regeln, die bei einer kunststoffgerechten Teilegestaltung beachtet werden sollten, aufgelistet.

- Die Wanddicken sind so dünn wie möglich und so dick wie nötig zu bemessen.
- Masseanhäufungen vermeiden.
- Gleichmässige Wandstärken vorsehen. So wenig Wanddickenänderungen wie möglich, keine sprunghaften Änderungen der Wanddicke.
- Alle Ecken, Kanten sind abzurunden ($R \leq 0,6 \times s$; $s =$ Wanddicke)
- Rippen versteifen die Konstruktion, bringen jedoch die Gefahr von Verzug und Einfallstellen mit sich (Entformungsschrägen von ca. $0,5-2^\circ$, Höhe ca. $3 \times$ Wanddicke, Rippenbreite am Fuss ca. $0,4-0,6 \times$ Wanddicke).
- Rippen können auch durch Abstufungen vermieden werden (Stufen, Wellen, Stege).
- Ausreichende Entformungsschrägen bei Aussen- und Innenflächen, bei Rippen, Augen und Nuten (ca. $0,5-2^\circ$). Bei strukturierter Oberfläche sind grössere Entformungsschrägen notwendig.
- Verzug durch Schwindungsunterschiede sollte sich durch geeignetes Design minimalisieren lassen (z.B. Bombieren, Wölben).
- Hinterschneidungen vermeiden.
- Keine engeren Toleranzen vorschreiben, als dies für die Funktionsfähigkeit der Konstruktion erforderlich ist.
- Hochglanzpolieren nur, wo nötig (Kosten).
- Krafffluss beachten.
- Grosse Auflageflächen vermeiden.

3. Spritzgiessverarbeitung

Lieferform & Materialvorbereitung

Grilamid, Grivory und Grilon werden verarbeitungsfertig in verschiedenen Gebinden angeliefert. Eine Vortrocknung vor dem Spritzgiessen ist somit nicht notwendig. Voraussetzungen sind natürlich, dass die Verpackung unbeschädigt und verschlossen ist.

Der empfohlene Feuchtegehalt für die Verarbeitung der Produktfamilien Grilon A/B/TS, Grivory GV & HT und Grilamid TR & L ist im jeweiligen Technischen Datenblatt für das Produkt beschrieben.

Ein zu hoher Feuchtegehalt im Granulat wird durch Feuchtemessgeräte ermittelt.



Abb. 23: Aquatrac Barbender



Abb. 24: Hydrotracer Aboni

Trocknen von feuchtem Granulat:

Trockner	Trocknungstemperatur [°C]	Trocknungszeit [h]
Trockenlufttrockner 1)	80	4 – 12
Vakuumofen	80 – 100	4 – 10

1) Taupunkt mindestens -30 °C

Die Trocknungszeit ist stark vom Feuchtegehalt abhängig. Im Zweifelsfalle sollte 12 Stunden getrocknet werden. Höhere Temperaturen als 80 °C führen zur Vergilbung des Granulates. Beim Vakuumtrockner sollte die Temperatur unterhalb von 80 °C gesenkt werden, bevor der Trockner geöffnet wird.

Um die Feuchtigkeitsaufnahme von Granulat vor und während der Verarbeitung zu vermeiden, sind folgende Punkte zu beachten:

- Restmengen von Granulat in luftdicht verschliessbare Behälter umfüllen.
- Verweilzeit des Granulates im Trichter nicht länger als 1 Stunde.
- Immer einen Trockenluft- oder Drucklufttrockner vorschalten.
- Keine Gebinde mit «kaltem» Granulat öffnen. Gebinde vor der Verarbeitung in der Spritzgusshalle lagern (Temperatenausgleich).
- Maschinentrichter bei Produktionsschluss oder längerem Maschinenstillstand entleeren.

Die Trocknung von Polyamid im Umlufttrockner wird nicht empfohlen.

Auswirkungen von feuchtem Granulat

Zu hohe Feuchtigkeit im Granulat ist beim Spritzgiessen zu erkennen durch:

- Silbrige Schlieren auf der Bauteiloberfläche
- Blasen- oder Schaumbildung im Schmelzekuchen und Knistern beim Ausspritzen der Schmelze ins Freie

Neben einer schlechteren Oberfläche sind aber auch Einbussen bei den Bauteileigenschaften möglich (Materialabbau).

Lagerung

Verschweisste, unbeschädigte Säcke können, witterungsgeschützt, über Jahre gelagert werden. Eine Ausnahme gilt für Produktfamilie Grilamid TR. Hier sollte eine Lagerung > 6 Monate nicht überschritten werden. Als Lagerort empfiehlt sich ein trockener Raum, in dem die Säcke vor direkter Sonneneinstrahlung und Beschädigung geschützt sind.

Auswahl der Spritzgiessmaschine

Die Auswahl der Spritzgiessmaschine erfolgt nach den folgenden Kriterien:

- Werkzeugabmessungen
- Schussvolumen
- Schliesskraft

Werkzeugabmessung

Für eine geeignete Spritzgiessmaschine sind zu berücksichtigen: Holmabstände (fällt weg bei der holmlosen Spritzgiessmaschine), maximale und minimale Werkzeugeinbauhöhe, notwendiger Werkzeugöffnungsweg sowie Ausstossweg.

Notwendiges Schussvolumen

Das Schussvolumen bestimmt die Grösse vom Spritzaggregat. In der Regel sollte dieses so gross gewählt werden, dass 80 % des maximal möglichen Dosiervolumens ausgenutzt wird. Der minimale Dosierweg sollte im Minimum grösser sein als die Länge der Rückstromsperre.

Schliesskraft

Die Schliesskraft muss grösser sein als die beim Einspritzen bzw. Nachdrücken entstehende Auftriebskraft im Werkzeug. Die Auftriebskraft errechnet sich aus der projizierten Fläche des Bauteils inklusive Angussystem multipliziert mit dem wirkenden Werkzeuginnendruck. Für technische Teile aus Grilamid, Grivory und Grilon muss je nach Fliessweg/Wanddicken-Verhältnis mit einem Werkzeuginnendruck von 400 – 800 bar gerechnet werden. Da die projizierte Fläche oft nur annähernd gerechnet wird, empfehlen wir eine zusätzliche Sicherheit von 10 %.

Verarbeitungstemperaturen

Massetemperatur

Die Massetemperatur ergibt sich aus den Zylindertemperaturen und der Friktionswärme. Bei Vernachlässigung der Regelgüte der Zylinderheizungen wird die Differenz zwischen Zylindertemperatur und Massetemperatur beeinflusst durch:

- a) die Drehzahl der Schnecke, den Stau- oder Gegendruck beim Dosieren
- b) die Verweilzeit der Schmelze im Zylinder
- c) den Durchmesser der Schnecke und deren Bauart
- d) den Verschleissgrad von Schnecke und Zylinder

Zylindertemperaturen

Die Einstellung der Temperaturen am Heizzylinder ergibt üblicherweise ein Profil, bei dem die Temperatur vom Trichter zur Düse ansteigt.

Die Düsentemperatur ist so zu wählen, dass eine Fadenbildung bei zu hoher und ein kalter Propfen bei zu niedriger Temperatur vermieden werden.

Die Einzugszone wird so temperiert, dass

- kein frühzeitiges Aufschmelzen des Granulates erfolgt
- kein Kondenswasser entsteht
- ein gleichmässiges und störungsfreies Dosieren möglich wird.

Werkzeugtemperierung

Die Oberflächentemperatur des Spritzgiesswerkzeuges ist für die Qualität von Teilen aus Grilamid, Grivory oder Grilon mitentscheidend. Die Temperierung erfolgt über ein Heizgerät, welches Wasser (drucklos bis 95 °C, unter Druck bis 220 °C) oder Öl (max. 250 °C) durch die Temperierbohrungen des Werkzeuges pumpt. Wasser ist wegen seiner besseren und schnelleren Wärmeübertragung dem Öl vorzuziehen.

Die geregelten Temperiergeräte ermöglichen konstante Werkzeugoberflächentemperaturen während der Produktion. Die Regeltoleranz sollte nicht mehr als ± 3 °C betragen.

Richtwerte für die erforderliche Heizleistung:

Werkzeuggewicht [kg]	Heizleistung [kW]
~ 100	3 – 6
~ 1000	6 – 9
~ 2000	9 – 12

Die Werkzeugoberflächentemperatur sollte für teilkristalline immer oberhalb der Glasübergangstemperatur (T_g) und oberhalb der Gebrauchstemperatur gewählt werden. Damit wird ein nachträglicher Verzug durch Nachschwindung auf ein Minimum reduziert.

Grosse Werkzeuge sollten auf Düsen- und Auswerferseite mit getrennten Temperierkreisläufen ausgerüstet sein. Wichtig ist in allen Fällen eine gleichmässige, konstante Temperatur auf der gesamten formgestaltenden Werkzeugoberfläche. Werkzeugkerne sollten zusätzlich einzeln temperiert werden. Insbesondere bei der Notwendigkeit von hohen Werkzeugtemperaturen (z.B. Grivory HT) reduziert eine Werkzeugisolierung den Energieverbrauch für die Werkzeugtemperierung deutlich.

Temperaturreichtlinien für die verschiedenen Produktfamilien

	Materialtyp	Düse [°C]	Zone 1-3 [°C]	Einzug [°C]	Masse [°C]	Werkzeug [°C]					
GRIVORY GV / HT	Grivory GV-2H – Grivory GV-6H	270 – 280	260 – 285	70 – 80	270 – 300	80 – 120					
	Grivory GVX-5H – Grivory GVX-7H										
	Grivory GVS-5H – Grivory GVN-35H										
	Grivory GC-4H Grivory GM-4H Grivory G4V-5H										
	Grivory HT1						330 – 340	330 – 345	80 – 100	330 – 345	≥140
	Grivory HT2						310 – 325	315 – 340	60 – 80	315 – 330	100 – 140
	Grivory HT3						305 – 320	300 – 325	60 – 80	300 – 330	110 – 160
	Grivory HT6						330 – 340	330 – 345	80 – 100	330 – 345	≥160

	Materialtyp	Düse [°C]	Zone 1-3 [°C]	Einzug [°C]	Masse [°C]	Werkzeug [°C]
GRILAMID TR	Grilamid TR 50	280 – 310	260 – 310	60 – 80	280 – 320	80 – 120
	Grilamid TR 55	280 – 300	270 – 290	40 – 60	280 – 305	80 – 110
	Grilamid TR 55 LX	240 – 260	240 – 260	40 – 60	250 – 270	40 – 60
	Grilamid TR 55 LY					
	Grilamid TR 55 LZ					
	Grilamid TR 30	280 – 300	270 – 300	60 – 80	290 – 310	100 – 120
	Grilamid TR 30 LS					
	Grilamid TR 30 UVH					
	Grilamid TR 90	260 – 280	250 – 280	60 – 80	260 – 280	60 – 80
	Grilamid TR 90 LS					
	Grilamid TR 90 UVH					
	Grilamid TR 90 LX	250 – 270	240 – 270	60 – 80	250 – 270	40 – 80
	Grilamid TR 90 LXS					
	Grilamid TR ICR 12	270 – 290	250 – 290	60 – 80	280 – 300	60 – 80
GRILAMID	Grilamid L	230 – 270	230 – 270	40 – 60	240 – 270	40 – 80
	Grilamid LV	260 – 290	250 – 290	60 – 80	270 – 290	60 – 100
	Grilamid 1S	260 – 290	250 – 290	60 – 80	270 – 290	60 – 100
	Grilamid 2S	260 – 290	250 – 290	60 – 80	270 – 290	60 – 100
	Grilamid 2D	250 – 290	250 – 290	60 – 80	270 – 290	40 – 80
GRILON	Grilon A	275 – 285	270 – 290	60 – 80	280 – 300	80 – 100
	Grilon B	255 – 280	250 – 285		240 – 300	
	Grilon TS / TSS	280 – 300	270 – 285	270 – 300		
LFT	Grilamid LVL	260 – 270	260 – 280	60 – 80	260 – 280	80 – 100
	Grilon TSGL	290 – 310	290 – 310		290 – 310	80 – 120
	Grivory GVL			330 – 345	330 – 345	140 – 160
	Grivory HT1VL					

Einspritzgeschwindigkeit und Nachdruck

Die Einspritzgeschwindigkeit und der Nachdruck sind material- und artikelabhängig. Diese müssen so gewählt werden, dass die Kavität gefüllt werden kann, die gewünschte Oberflächenqualität erreicht wird und um Einfallstellen und Lunker zu vermeiden.

Die Einspritzgeschwindigkeit wird der Teilegrösse und -gestalt angepasst. Für glasfaserverstärkte Produkte sollte sie hoch sein. Der Einspritzdruck muss genügend hoch eingestellt sein, um zu gewährleisten, dass die Einspritzgeschwindigkeit während des ganzen Einspritzvorganges nicht unter die gewählten Sollwerte abfällt.

	Einspritzen	Verdichten	Nachdrücken
Qualitätsmerkmale	Oberfläche Glanz Orientierungen Verzug Kristallinität	Oberfläche Überspritzungen Gewicht Abmessungen	Gewicht Abmessungen Schwindung Verzug Lunker/Einfallstellen Orientierungen
Prozessparameter	Einspritzgeschwindigkeit Zylinder- und Werkzeugtemperaturen	Umschaltpunkt Zylinder- und Werkzeugtemperaturen	Nachdruckhöhe Nachdruckzeit Zylinder- und Werkzeugtemperaturen

Für eine optimale Verarbeitung muss die korrekte Umschaltung vom Einspritzen auf den Nachdruck sichergestellt werden. Bewährt haben sich die wegabhängige und druckabhängige Umschaltung (Hydraulik- oder Werkzeuginnendruck).

Es gelten folgende Richtwerte:

- Umschaltung wegabhängig: 0.1 – 0.2 x Dosierweg
- Umschaltung hydraulikdruckabhängig: 2/3 x max. Spritzdruck
- Umschaltung werkzeuginnendruckabhängig: 0.8 – 0.9 x max. Innendruck

Schneckendrehzahl / Staudruck

Die Schneckendrehzahl sollte so gewählt werden, dass die Schneckenumfangsgeschwindigkeit im Bereich von 0.05 bis 0.3 m/s liegt.

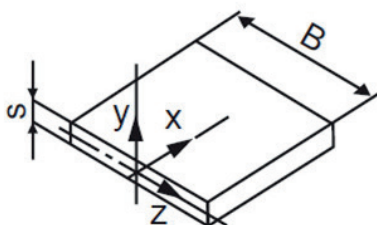
Berechnung der Schneckenumfangsgeschwindigkeit:

$v = 2 \cdot r \cdot n$	v	Schneckenumfangsgeschwindigkeit	[m/s]
	r	Radius Schnecke	[m]
	n	Schneckendrehzahl	[1/s]

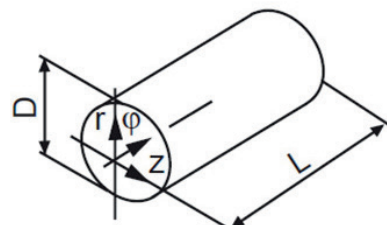
Spezifische Staudrücke zur Unterstützung einer gleichmäßigen Aufschmelzung und Homogenisierung liegen zwischen 100 – 150 bar. Um geringe Restfeuchten auszugleichen sind Staudrücke bis 300 bar möglich.

Kühlzeit

Die Zykluszeit wird wesentlich durch die Kühlzeit beeinflusst. Die Kühlzeit (Nachdruckzeit + Restkühlzeit) kann mit folgenden Formeln schnell abgeschätzt werden.



$$t_K = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{\text{eff}}} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{\vartheta_M - \bar{\vartheta}_W}{\bar{\vartheta}_E - \bar{\vartheta}_W} \right)$$



$$t_K = \frac{D^2}{23.14 \cdot a_{\text{eff}}} \cdot \ln \left(0.692 \cdot \frac{\vartheta_M - \bar{\vartheta}_W}{\bar{\vartheta}_E - \bar{\vartheta}_W} \right)$$

t_K	Kühlzeit	[s]
$\bar{\vartheta}_E$	mittlere Entformungstemperatur	[°C]
$\bar{\vartheta}_W$	mittlere Werkzeugwandtemperatur	[°C]
ϑ_M	Massetemperatur	[°C]

a_{eff}	effektive Temperaturleitfähigkeit	[mm ² /s]
s	Wanddicke	[mm]
D	Durchmesser	[mm]

Die effektive Temperaturleitfähigkeit a_{eff} errechnet sich wie folgt:

$$a_{\text{eff}} = \frac{\lambda \times 1000}{C_p \times \rho}$$

λ	Wärmeleitfähigkeit der Schmelze	[W/(mK)]
C_p	spezifische Wärmekapazität	[J/(kgK)]
ρ	Dichte der Schmelze	[kg/dm ³]

oder kann der CAMPUS-Datenbank entnommen werden.

Dosierweg

Zur Festlegung des Dosiervolumens respektive des Dosierweges gibt es folgende Möglichkeit:

$$\text{Dosierweg } s_D [\text{cm}] = 1.2 \times \frac{\text{Volumen Bauteil + Anguss } [\text{cm}^3]}{\text{Querschnittsfläche der Schnecke } [\text{cm}^2]}$$

Der Faktor 1.2 berücksichtigt im Mittel den Unterschied von Schmelze- zu Feststoffdichte und die Volumenkompression aufgrund des Druckes im Schneckenorraum während des Spritzzyklus.

Der Dosierweg sollte im Bereich von 50 – 80 % des Maximalen liegen. Der minimale Dosierweg muss in jedem Fall grösser sein als die Länge der Rückstromsperre um die einwandfreie Funktion zu gewährleisten.

Restmassepolster

Das Restmasspolster ist abhängig vom Werkstoff und der Bauteilgrösse.

$$\text{Restmassepolster } S_R = \sim 0.02 - 0.1 \times \text{Dosierweg } S_D$$

Berechnung der Verweilzeit

$$t_v = \frac{1.2 \times V_H}{V_D} \times t_z$$

t_z	Zykluszeit	[s]	
t_v	Verweilzeit	[s]	
D	Schnecken- \emptyset	[mm]	
s_D	Dosierweg	[mm]	
V_D	Schussvolumen	[mm ³]	$V_D = D^2 \cdot \pi / 4 \cdot s_D$
s_H	max. möglicher Dosierweg	[mm]	
V_H	max. mögliches Schussvolumen	[mm ³]	$V_H = D^2 \cdot \pi / 4 \cdot s_H$

Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte direkt an Ihren zuständigen EMS-GRIVORY Aussendienstmitarbeiter.

Die Angaben in dieser Veröffentlichung entsprechen dem heutigen Stand unserer Erkenntnisse und Erfahrungen. Sie sind als unverbindliche Richtwerte zu verstehen und stellen insbesondere keine Materialspezifikation dar. Eine Garantie in Bezug auf Eigenschaften, Anwendung, Eignung, Design und Verarbeitung kann aus unseren Angaben nicht abgeleitet werden. Die Angaben befreien den Abnehmer nicht von eigenen Untersuchungen zur Eignung, zur Einhaltung gesetzlicher Vorschriften sowie etwaiger Schutzrechte. Wir behalten uns vor, die Angaben in dieser Veröffentlichung jederzeit ohne Ankündigung zu ändern. Die Angaben bedeuten keine vertragliche Verpflichtung unsererseits und jegliche Haftung wird ausdrücklich ausgeschlossen. Für weitergehende Fragen über unsere Produkte stehen Ihnen unsere Experten gerne zur Verfügung

Erstellt durch: UBGR/AWT - 01/2023



EMS-GRIVORY weltweit

www.emsgrivory.com

EMS-GRIVORY – Der führende Spezialist für Hochleistungspolyamide

EMS-GRIVORY ist der führende Spezialist für Hochleistungspolyamide und Anbieter mit dem breitesten Polyamid-Sortiment. Unsere Produkte sind weltweit unter den Markennamen Grivory, Grilamid und Grilon bekannt.

Wir bieten unseren Kunden ein umfassendes Paket aus leistungsfähigen und qualitativ hochwertigen Produkten sowie segmentspezifischer Beratungskompetenz in Vertrieb und Anwendungstechnik. Wir sichern unsere Marktführerschaft durch kontinuierliche Produkt- und Anwendungsentwicklung in allen Segmenten.

EMS-GRIVORY Europa

Schweiz

EMS-CHEMIE AG
Unternehmensbereich EMS-GRIVORY Europa
Via Innovativa 1
7013 Domat/Ems
Schweiz
Tel. +41 81 632 78 88
welcome@emsgrivory.com

Deutschland

EMS-CHEMIE (Deutschland) Vertriebs GmbH
Warthweg 14
64823 Gross-Umstadt
Deutschland
Tel. +49 6078 783 0
Fax +49 6078 783 416
welcome@de.emsgrivory.com

Frankreich

EMS-CHEMIE (France) S.A.
Vélizy Espace, Immeuble Le Blériot
13 avenue Morane Saulnier
78140 Vélizy-Villacoublay
France
Tel. +33 1 41 10 06 10
Fax +33 1 48 25 56 07
welcome@fr.emsgrivory.com

Grossbritannien

EMS-CHEMIE (UK) Ltd.
Forest Lodge
Dunston Business Village
Dunston
Stafford ST18 9AB
Great Britain
Tel. +44 1785 283 739
Fax +44 1785 283 722
welcome@uk.emsgrivory.com

Italien

EMS-CHEMIE (Italia) S.r.l.
Via Carloni 56
22100 Como (CO)
Italia
Tel. +39 011 0604522
Fax +39 011 0604522
welcome@it.emsgrivory.com

EMS-GRIVORY Asia

China

EMS-CHEMIE (China) Ltd.
227 Songbei Road
Suzhou Industrial Park
Suzhou City 215126
Jiangsu Province
P. R. China
Tel. +86 512 8666 8180
Fax +86 512 8666 8210
welcome@cn.emsgrivory.com

EMS-CHEMIE (Suzhou) Ltd.

227 Songbei Road
Suzhou Industrial Park
Suzhou City 215126
Jiangsu Province
P. R. China
Tel. +86 512 8666 8181
Fax +86 512 8666 8183
welcome@cn.emsgrivory.com

Taiwan

EMS-CHEMIE (Taiwan) Ltd.
36, Kwang Fu South Road
Hsin Chu Industrial Park
Fu Kou Hsiang
Hsin Chu Hsien 30351
Taiwan, R. O. C.
Tel. +886 3 598 5335
Fax +886 3 598 5345
welcome@tw.emsgrivory.com

Korea

EMS-CHEMIE (Korea) Ltd.
#817 Doosan Venturedigim,
415 Heungan Daero,
Dongan-gu, Anyang-si,
Gyeonggi-do, 14059
Republic of Korea
Tel. +82 31 478 3159
Fax +82 31 478 3157
welcome@kr.emsgrivory.com

Japan

EMS-CHEMIE (Japan) Ltd.
EMS Building
2-11-20 Higashi-koujiya
Ota-ku, Tokyo 144-0033
Japan
Tel. +81 3 5735 0611
Fax +81 3 5735 0614
welcome@jp.emsgrivory.com

EMS-GRIVORY America Vereinigte Staaten

EMS-CHEMIE (North America) Inc.
2060 Corporate Way
P.O. Box 1717
Sumter, SC 29151
USA
Tel. +1 803 481 91 73
Fax +1 803 481 61 21
welcome@us.emsgrivory.com

EMS-GRIVORY,
ein Unternehmensbereich der EMS-Gruppe

EMS
EMS-GRIVORY