

Verarbeitung von VESTAMID® HT*plus* Spritzgießen

Allgemeine Hinweise

Für die Spritzgießverarbeitung werden VESTAMID® HT*plus* PPA-Formmassen überwiegend in Granulatform verarbeitet. Hierzu sind die meisten Standard-Schnecken-spritzgießmaschinen geeignet. Die Plastifiziereinheit sollte für HT-Thermoplaste mit Verarbeitungstemperaturen bis 400 °C ausgelegt sein. Gegebenenfalls ist eine entsprechende Modifikation der Hard- und Software erforderlich. Darüber hinaus empfehlen wir die Einhaltung der im Folgenden aufgeführten Hinweise zur Spritzgießverarbeitung von PPA.

Mit dem Ziel, gemeinsam mit unseren Kunden auch technisch anspruchsvolle Systemlösungen zu erarbeiten, bieten wir eine umfassende anwendungstechnische Beratung an. Dazu zählt auch die Unterstützung durch Simulationsrechnungen bei der Entwicklung von Werkzeugen und Formteilen.

Für weitere Details wenden Sie sich bitte an die angegebenen Ansprechpartner.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
• Trocknung	2
• Plastifiziereinheit	2
• Reinigung	3
• Schließeinheit	4
• Werkzeug	4
• Anguss	5
• Heißkanalsystem	6
• Entlüftung	7
• Entformungsschrägen, Rautiefen	8
• Temperierung	9
• Schwindung	11
• Verarbeitungsbedingungen	12

Trocknung

PPA verlässt das Werk mit einem Feuchtigkeitsgehalt kleiner 0,10 Gew. %. Um jedoch qualitativ hochwertige Spritzlinge zu erlangen, empfehlen wir eine zusätzliche Trocknung im Trockenlufttrockner.

Trockentemperatur: 120 °C
Trockenzeit: 4 Std. im
Trockenlufttrockner
Max. Restfeuchte : Empfehlung < 0,06 %

Hinweise:

- Der Taupunkt des Trockners sollte < -30 °C betragen.
- Zum Fördern des Granulats empfehlen wir die Verwendung getrockneter Luft
- Luftdurchsatz: $\sim 2,2\text{m}^3/\text{h}/\text{kg}$ (Quelle: Motan, Trockenschema siehe Abb. 1)

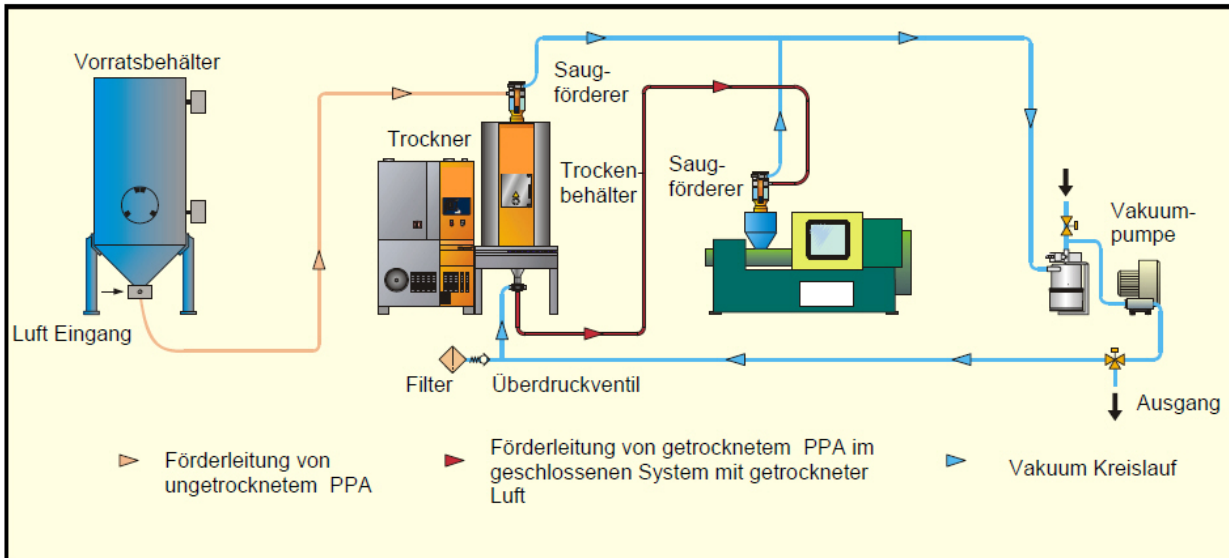


Abb.1: Trockenschema PPA (Fa. Motan)

Plastifiziereinheit

Schnecke und Zylinder

Eine Länge von 20 bis 22 D ist in der Regel zur Verarbeitung von PPA geeignet.

- Zonenaufteilung: Einzug 50-60 %, Kompression 20 - 25 %, Metering 20-25 %
- Gangtiefenverhältnis 2,5 - 3,5:1

Die Plastifiziereinheit sollte so ausgelegt sein, dass das benötigte Dosiervolumen zwischen 30 % und 70 % des max. möglichen Schussvolumens beträgt. Dadurch wird eine homogene Schmelzequalität erreicht und das Einziehen von Luft verhindert. (Abb. 2)

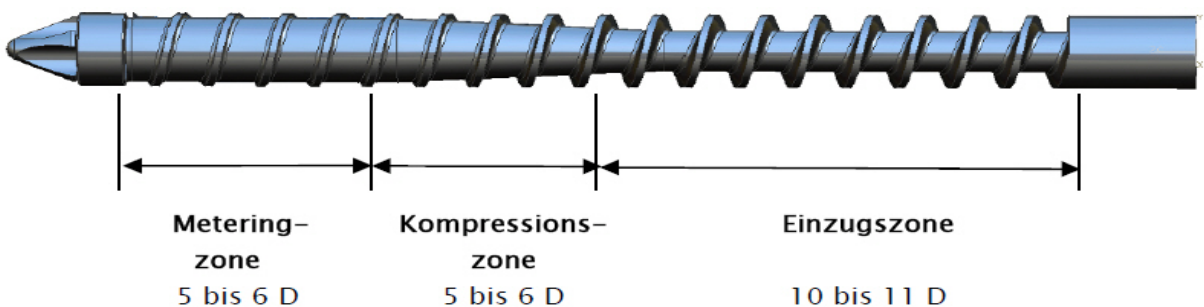


Abb. 2: Universal 3-Zonen-Schnecke

Rückstromsperre

Handelsübliche dreiteilige Rückstromsperren (RSS) werden eingesetzt. Die Maschinenhersteller bieten ein großes Spektrum in verschiedenen Ausführungen an. Ein reproduzierbares, schnelles Schließen der RSS beim Einspritzen ist unbedingte Voraussetzung für konstante Formteilqualität und Formteilmgewichte. Daher sollte eine regelmäßige Kontrolle der RSS durchgeführt werden.

Maschinendüse

Überwiegend werden offene Düsen eingesetzt. Eine geringe Kompressionsentlastung von ca. 3 bis 5 mm wirkt dem Schmelzeaustritt aus der Düsenbohrung entgegen. Zu lange Dekompressionswege führen jedoch zum Lufteinschluss und haben Verbrennungen in Angussnähe zur Folge.

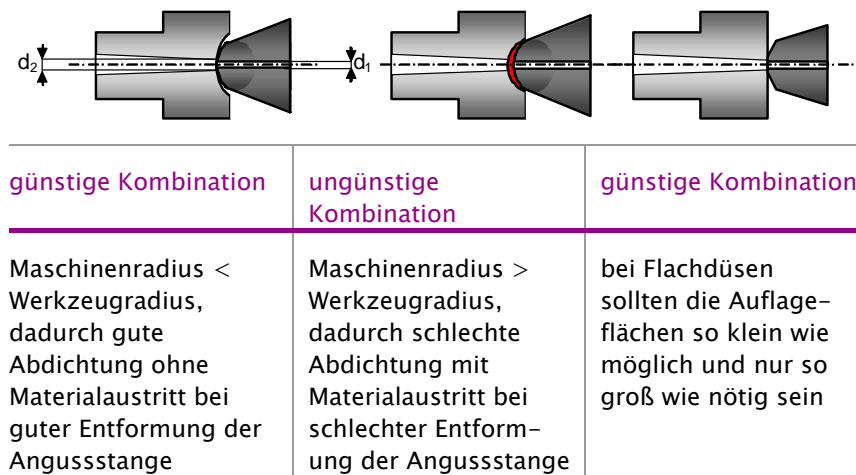
Verschlussdüsen (pneumatisch oder hydraulisch betätigt) werden ebenfalls eingesetzt, allerdings ist je nach Bauart durch ungünstigere Schmelzeführung mit zusätzlichen Spritzdruckverlusten zu rechnen. Verschlussdüsen verhindern ein Herauslaufen der Schmelze aus dem Spritzzylinder und können einer Fadenbildung ent-

gegen wirken. Die pneumatischen Systeme arbeiten in der Regel mit Druckluftanschlüssen zwischen 5 und 10 bar, während hydraulische Verschlussdüsen zwischen 40 und 70 bar Hydraulikdruck erfordern. In vorhandenen „toten Ecken“ kann es zu thermischen Schädigungen durch zu lange Verweilzeiten kommen.

Bei allen zum Einsatz kommenden Düsenbauarten ist auf eine ausreichend hohe Heizleistung zu achten. Damit ein „Einfrieren“ der Düse, bzw. die Bildung eines „kalten Pfropfens“ bei anliegendem Spritzaggregat an der Werkzeugangussbuchse verhindert wird, sollte das Heizband die gesamte Länge des Düsenkörpers abdecken.

Um ein problemloses Entformen eines Stangenangusses zu ermöglichen, sollte der Austrittsdurchmesser (d_1) der Maschinendüse ca. 0,5 bis 1 mm kleiner sein als der Bohrungsdurchmesser (d_2) der Angussbuchse. Zu beachten ist auch, dass der Radius der Maschinendüse kleiner als der Angussbuchsenradius ist (z. B. Düsenradius = 35 mm, Angussbuchsenradius = 40 mm). (Abb.3)

Abb. 3: Abstimmung der Radien von Maschinendüse und Angussbuchse



Spritzaggregat

Zur Verarbeitung von VESTAMID® HTplus im Spritzzylinder werden meist Schnecken aus korrosions- und verschleißgeschützten PM-Stählen eingesetzt. Für den Spritzzylinder empfehlen wir Bi-Metallausrüstungen.

Verweilzeit

Um thermischen Abbau der Schmelze zu vermeiden, sollte die Verweilzeit im Spritzzylinder ca. 6 min nicht übersteigen.

Reinigung

Allgemeines

Vor der Verarbeitung von VESTAMID® HTplus sollten andere Polymere vollständig aus der Plastifiziereinheit entfernt werden. Dies geschieht entweder durch eine mechanische Reinigung von Zylinder und Schnecke oder durch die Verwendung geeigneter Reinigungsmaterialien (z.B. Rapid Purge, Asaclean). Als geeignetes Polymer hat sich ein hochviskoses PP mit einem MFI <1g/10 min bewährt.

Reinigung beim Anfahren der Spritzgießmaschine

1. Einstellung der Zylindertemperatur auf Werte, bei der das zu entfernende Material normalerweise verarbeitet wird.
2. Einbringen des Reinigungsmaterials und Spülen bis keine Spuren des zu entfernenden Materials mehr zu erkennen sind.
3. Schnecke leer fahren.
4. Einstellen der Zylindertemperaturen auf die für die PPA-Verarbeitung erforderlichen Werte.
5. Wenn die Temperaturen erreicht sind, Umstellen auf PPA und Material fördern, bis saubere Schmelze vorliegt.

Reinigung beim Abstellen der Spritzgießmaschine

1. Materialzulauf vom Trichter zur Spritzgießmaschine unterbrechen.
2. Zylinder leer fahren, bis kein PPA mehr in der Spritzeinheit ist.
3. Reinigungsmaterial einbringen und solange extrudieren, bis keine sichtbaren Spuren von PPA mehr vorhanden sind.
4. Zylindertemperaturen auf eine niedrigere, für PPA noch akzeptable Temperatur (320 °C) verringern.
5. Weiter mit dem Reinigungsmaterial spülen, bis die Zylindertemperatur auf das Niveau für das Nachfolgematerial gesunken ist

(Annahme: verringerte Verarbeitungstemperatur).

6. Nachfolgepolymer eindosieren bzw. Heizung ausschalten, falls Maschine abgestellt wird.

Schließeinheit

Schließkraft

Die erforderliche Schließkraft ist abhängig von der Größe der projizierten Spritzfläche (Anguss- und Artikelfläche) und dem resultierenden Forminnendruck. Die Schließkraft muss ausreichend hoch bemessen sein, um ein Atmen des Werkzeugs und Überspritzen des Formteils zu vermeiden.

Werkzeug

Werkzeugstahl

Für das Formnest sollten Stahlsorten eingesetzt werden, welche bei den hohen Verarbeitungstemperaturen noch eine ausreichende Härte (ca. 50 bis 54 HRC) besitzen. Eine Zusammenstellung der gebräuchlichsten Stahlgusslegierungen zeigt Tabelle 1. Kommt es auf hohe Wärmeleitfähigkeit der Formteiloberfläche an, so können Formeinsätze aus Kupfer-Beryllium-Legierungen eingesetzt werden, auf die auch Schutzschichten aus Chrom und Nickel aufgetragen werden können.

Tab. 1: Werkzeugstähle und Wärmeleitfähigkeiten von Stahl- und Kupferlegierungen für Spritzgießwerkzeuge (Auswahl)

Bezeichnung	Wärmeleitfähigkeit [W/m ² *K]	Dichte [g/cm ³]	Anwendung
Stahl 1.2083	24	7,85	korrosionsbeständiger Warmarbeitswerkzeugstahl mit HRC 50 bis 54 für chem. aggressive Polymere, gut polierbar mit hoher Verschleißfestigkeit, gute Zerspannbarkeit, flammenschutzhaltige Polymere
Stahl 1.2316	24	7,85	korrosionsbeständiger Werkzeugstahl, gut polierbar, härtbar bis ca. 52 HRC für SG Formen und Einsätze, PVD-beschichtbar und gut verchrombar, flammenschutzhaltige Polymere
Stahl 1.2343	25	7,85	gut polier- und nitrierbarer Warmarbeitswerkzeugstahl mit Einbauhärten bis 50 HRC für abrasiv belastete Einsätze, PVD-beschichtbar und gut verchrombar
Stahl 1.2379	21	7,70	durchhärtender Werkzeugstahl mit Härtegraden bis 62 HRC für abrasiv belastete Einsätze, hohe Verschleißfestigkeit, für verstärkte Formmassen
Amcoloy 83 (Ampco Metal Cu-Be-Leg.) 2.1247	106	8,26	thermisch hochbeanspruchte Einsätze mit guter Wärmeleitfähigkeit, Einsatztemperaturen bis 300°C, bei Erhalt der mech. Eigenschaften. Verschiedene Oberflächenbeschichtungen (WC/C, CrN) sind möglich. Chemisch Nickel Auftrag wird empfohlen.
Moldmax HH (Cu-Be-Leg. Uddeholm) 2.1247	105	8,35	Kerne in Stahlformen mit hoher Wärmeleitfähigkeit, ca. 4 mal bessere Wärmeleitfähigkeit als Stahl, Einsatztemperaturen bis 300°C
Kupfer	393	8,95	

Anguss

Minstdurchmesser Stangenanguss: ca. 4 mm, Richtwert für den minimalen Eingangsdurchmesser ist 1,5-mal größte Formteildicke.

Angusschräge: erfahrungsgemäß zwischen 1° und 3°; um ein problemloses Entformen des Stangenangusses zu ermöglichen.

Auswerferkralle: speziell bei Stangenangüssen

Angussverteiler

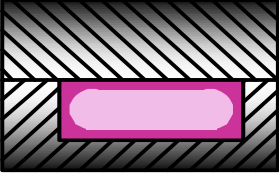
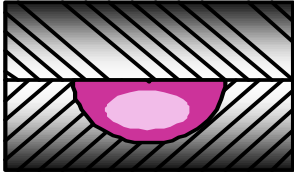
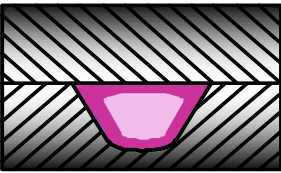
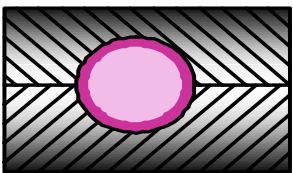
Angussverteiler sollten rund oder trapezförmig (Ausführung Abb. 4, c und d) ausgelegt werden (möglichst großer Fließquerschnitt bei kleinster Oberfläche). Halbrunde oder rechteckige Verteilergeometrien (Ausführung Abb. 4, a und b) sind nicht zu empfehlen.

Anschnitt, Anschnittsysteme

Das Anschnittsystem ist abhängig von Schmelzevolumen, Anzahl der Formnester und Bauteilgeometrie. Es sind fast alle gängigen Systeme möglich; kleine Tunnelanschnitte frieren jedoch schnell ein und sind eher bei kurzen benötigten Nachdruckzeiten und geringen Wanddicken einsetzbar.

Die Lage des Anschnittes sollte so gelegt werden, dass eine ev. Freistrahlbildung möglichst vermieden wird, weil dies meist zu Schwachstellen durch Bindenähte und zu Oberflächendefekten führen kann. Durch Anbindung an der dicksten Wandstärke lassen sich unerwünschte Einfallstellen auf ein Minimum reduzieren oder ganz vermeiden.

Abb. 4: Unterschiedliche Angussverteilerquerschnitte

			
rechteckig	halbrund	trapezrund	rund
ungünstig	ungünstig	alternativ zum Rundquerschnitt	geringste Oberfläche bezogen auf den Querschnitt
a	b	c	d

Tunnelanschnitt

Der in Abb. 5 gezeigte Tunnelanschnitt kann eingesetzt werden, wobei die Anschnittvariante in Abb. 5b mit Stauboden langsamer erstarrt und den Druckverlust und die Scherung gegenüber dem Tunnel ohne Stauboden (Abb. 5c) verringert. Somit werden längere Nachdruckzeiten mit besserer Nachdruckübertragung ermöglicht.

Bei VESTAMID® HT *plus* sollte der Verteiler etwas stärker dimensioniert sein, als der Tabellenwert A angibt, damit er beim Entformen noch elastisch ausgeworfen werden kann. Die Unterfluranbindung in Abb. 5a ist möglich.

Abb. 5: Verschiedene Tunnelanschnitt-Ausführungen für VESTAMID® HTplus

Unterfluranbindung (a)	Tunnel mit Stauboden (b)	Tunnel ohne Stauboden (c)
<p>Beispiel E1 690 (siehe Katalog Fa. Meusburger): A = Tabellen Maximalwert b = 15 mm → A = 34 mm, D = 2,5 mm b = 18 mm → A = 45 mm, D = 4 mm</p> <p>Anschnittsfläche A_A bei GF-gefülltem VESTAMID HTplus ist um ca. 45 % zu vergrößern</p>	<p>für $s \leq 4$ mm</p> <p>$\alpha = 30$ (hart) bis 50° (zäh-elastisch), $\beta = 20 - 30^\circ$, $d = 0,8$ bis 2 mm (üblich), Anschnittsfläche A bei GF-gefülltem VESTAMID HTplus ist um ca. 45 % zu vergrößern</p>	<p>für $s \leq 4$ mm</p> <p>$\alpha = 30$ (hart) bis 50° (zäh-elastisch), $\beta = 10 - 20^\circ$, $d = 0,8$ bis 2 mm (üblich), Anschnittsfläche A bei GF-gefülltem VESTAMID HTplus ist um ca. 45 % zu vergrößern</p>

Heißkanalsystem

Für die Verarbeitung von VESTAMID® HTplus mit Heißkanalsystemen (Abb. 6) eignen sich insbesondere außenbeheizte Düsenausführungen. Diese Systeme zeichnen sich in der Regel durch geringe Druckverluste und eindeutig bestimmte, strömungsgünstige Fließkanalquerschnitte aus. Bei häufigen Farbwechseln bieten vor allem außenbeheizte Systeme ohne Vorkammer Vorteile im Spülverhalten innerhalb des Schmelzechanals. Für die schnellstmöglichen Farbwechselzeiten sollte die Schergeschwindigkeit im Kanal zwischen 700 und 1300 1/sec liegen. Dies kann zum Beispiel durch kleine Schmelzekanaldurchmesser erreicht werden. Hierbei ist jedoch die Höhe des Druckverlustes zu beachten, wobei eine ausreichende Formfüllung gewährleistet sein muss. Auch sog. Reinigungsgranulate können Farbwechselprobleme reduzieren, jedoch sollten diese für Heißkanaltauglichkeit getestet sein.

Besondere Beachtung gilt einer guten thermischen Trennung zwischen Heißkanal und Spritzgießwerkzeug. Als vorteilhaft hat sich bei der Inbetriebnahme einer HK-Düse das Füllen des Isolierspalts mit ungefülltem Polymer erwiesen, weil gefüllte Polymere (Kohle- oder Glasfasern) die ungewollte Wärmeableitung von Heißkanal-Düse zur Spritzform begünstigen.

Bei verstärkten VESTAMID® HTplus-Typen bieten Wärmeleitertorpedos aus Hartmetall ausreichenden Verschleißschutz. Bei Füllstoffgehalten größer 20 % sollte der Anschnittdurchmesser um 10 - 20 % größer gewählt werden. Zu groß gewählte Anschnitte führen jedoch zu schlechten Abriss



Abb. 6: Heißkanaldüse, außenbeheizt (Fa. Günther)

qualitäten durch unzulässig hohe Anschnittreste auf dem Artikel.

Auch Nadelverschlussysteme finden praktische Anwendung, für Compounds mit Füllstoffen (z.B. Glasfasern) sind diese jedoch nicht zu empfehlen.

In der Regel sind keine besonderen Stahlsorten für die VESTAMID® HTplus-Verarbeitung im Heißkanal notwendig. Häufig wird der korrosionsbeständige Werkzeugstahl 1.2316 mit erhöhtem Chromgehalt (15 % - 17 %, siehe auch Tab. 1) eingesetzt.

Eine korrekte Ausführung der Anschnittgeometrie, die vom Hersteller empfohlen wird, ist Voraussetzung für eine exakte thermische Trennung zwischen Heißkanaldüse und Werkzeugkavität. Um qualitativ hochwertige Formteilerflächen mit sauberen Abrisspunkten herzustellen, sind die Einbau- und Produktempfehlungen der Hersteller zu beachten. Die eingesetzten Heiß-

kanalregler sollten Temperaturabweichungen von max. ± 1 °C gewährleisten. Eine Anfahr-schaltung mit Fühler-Lasterkennung des Heiß-kanal-Reglers ist von Vorteil und Stand der Technik.

Um die Druckverluste so gering wie möglich zu halten, sollten die Anschnittöffnungen möglichst großzügig dimensioniert sein. Druckverluste im Heißkanal können von vielen Heißkanal-Herstellern auf Basis von Materialdaten berechnet

werden, wobei die Schmelzekanalquerschnitte im Verteiler und der Heißkanal-Düse im Wesentlichen vom Volumenstrom (Schussgewicht), Anzahl der Farbwechsel und der Verweilzeit abhängig sind. Wird bei der Anspritzung mit Unterverteilern gearbeitet, können die Anschnittdurchmesser um ca. 0,5 mm größer gewählt und somit die Schergeschwindigkeit (Frikktion) der Polymerschmelze reduziert werden.

Tab. 2: Anhaltswerte der Dimension von Heißkanaldüsen abhängig vom Schussgewicht des Spritzlings (Quelle: Synventive)

Schussgewicht bis... [g]	Eingangsdurchmesser in die HK- Düse bis ... [mm]	Austrittdurchmesser HK-Düse in die Kavität [mm]
10	4	0,8 - 1,75
150	7	1,0 - 2,7
1500	12	2,4 - 3,6
2500	16	2,4 - 3,9

Entlüftung

Entlüftungskanäle in der Werkzeuggrennebene oder besonders am Fließwegende können in der Regel ohne Gratbildung bis zu 0,015 mm tief eingearbeitet werden. Bei Bedarf ist es möglich, bis auf 0,03 mm zu vertiefen, dabei ist allerdings die Gratbildung zu beobachten.

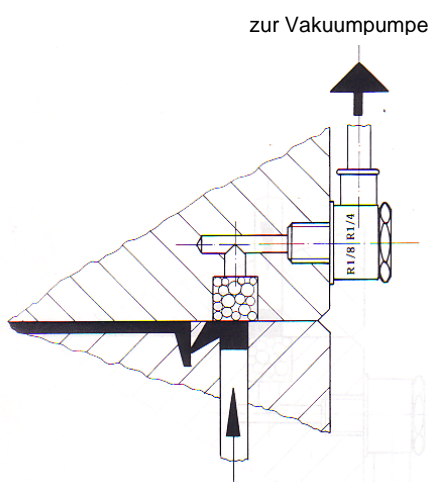


Abb. 7: Entlüftungsschema (Fa. Bawema)

Unterstützend ist eine Werkzeugentlüftung über entsprechend bearbeitete Auswerferstifte möglich.

Auch Lamelleneinsätze an kritischen Zusammenflussstellen können zur Vermeidung von „Brennern“ und Formbelagsbildung beitragen. Komprimierte Luft in der Kavität kann Temperaturen bis 1300 °C erreichen und zu Schädigungen des Formteils sowie zu Korrosionsproblemen an der Werkzeugwand führen. Besonders in „Sacklöchern“ ist auf ausreichende Entlüftungsmöglichkeiten zu achten, da es sonst zu nicht vollständig gefüllten Spritzlingen kommen kann. Hilfsmittel sind Entlüftungsstifte, die zur Reinigung leicht ausgebaut werden können. Wichtig ist die richtige Positionierung der Entlüftungseinsätze (Tab. 3), eine regelmäßige Wartung verhindert ein Zusetzen der Poren. Da sich Entlüftungselemente meist auf der Artikeloberfläche abzeichnen ist auf die kalkulierte Lage der Lufteinschlüsse zu achten. Eine weitere Verbesserung der Entlüftung kann durch einen beidseitigen Diagonalschliff in der Werkzeuggrennebene erreicht werden. Rautiefen zwischen 0,007 und 0,009 mm sorgen in den meisten Fällen für eine ausreichende Entlüftung der Formnester.

Soll vor dem Einspritzvorgang in der Formkavität ein Vakuum erzeugt werden, bietet sich der Anschluss einer Vakuumpumpe (Abb. 7) an die

hierfür vorgesehenen Entlüftungseinsätze (Sintermetall, Ringspalt, Auswerferstifte) an. In der Regel wird über das Anfahren eines Endschalters beim Schließvorgang oder direkt über die Maschinensteuerung das Entlüftungsgerät eingeschaltet. Ein Zeitrelais bestimmt die Dauer der Evakuierung. Bei Verschmutzungen kann der Entlüftungseinsatz mittels Gegenluft (ca. 5 bis 6 bar) frei geblasen werden. Für eine kurze Evakuierungszeit sollten die Entlüftungskanäle mög-

lichst kurz gehalten werden. Eine präzise Düsenanlage am Stangenanguss und eine dichte Werkzeugausführung vermeiden das Nachfließen von Fremdluft. Als Richtwert können bei einem Entlüftungsvolumen von 10 cm³ mit 1 bar Unterdruck und 90 % Vakuum bei Einsatz von Sintermetallstopfen (Tab. 3) z.B. Entlüftungszeiten von 1 bis ca. 5 s realisiert werden. Beim Einsatz von Entlüftungsventilen sind Zeiten <1 s möglich. (Quelle: BAWEMA)

Tab. 3: Konturinterne Entlüftungsalternativen (Quelle: BAWEMA)

	Sintermetallstopfen	Entlüftungseinsätze	Lamelleneinsätze mit Gewinde	Entlüftungsventile
Einsätze				
Werkstoff	Sintermetall, Poren mit nicht definierten Geometrien (Fa. Strack)	Sintermetall Entlüftungseinsatz, dünnste Drähte aneinander gefügt, Porengröße 0,03 mm (Fa. DME)	von vorne aus-drehbar zur Reinigung, Stahl mit 48 bis 50 HRC, verschiedene Durchmesser möglich (Fa. Wema)	Oberflächen im Entgasungsbereich geschliffen, Entlüftungsfläche ist Ringspaltquerschnitt (Fa. DME)
Entlüftungszeit von 10 cm³ bei 1 bar Unterdruck, und 90 % Vakuum	3 bis 5 s	ca. 1s	-	0,3 bis 0,6 s

Entformungsschrägen, Rautiefen nach VDI 3400

Für alle in Entformungsrichtung liegenden Innen- und Außenflächen sind Entformungsschrägen (Neigung) vorzusehen. Dies ist wichtig, um Beschädigungen am Formteil beim Auswerfen zu vermeiden. Für VESTAMID® HT plus kann ein Neigungswinkel von ca. 0,5° bis 1,5° eingesetzt werden.

Die Größe der Entformungsschräge x ist abhängig von der Oberflächenstruktur (Rauigkeit), dem Entformungsweg, der Wanddicke und dem eingesetzten Polymer. Besonders bei tiefen Rippen besteht bei zu geringen Entformungsschrägen beim Auswerfen des Spritzlings die Gefahr von Beschädigungen, Deformationen und Ziehstellen am Artikel.

Damit bei strukturierten Formteiloberflächen die Gefahr von Beschädigungen beim Entformen möglichst gering wird, sollten die in Tab. 4 empfohlenen zusätzlichen minimalen Entformungsschrägen eingehalten werden.

Drucksensoren

Die Verwendung eines Forminnendruckaufnehmers zur genauen Einstellung des Umschaltpunktes ist bei hohen Anforderungen an Gewichtskonstanz und Maßhaltigkeit zu empfehlen.

Tab. 4: Empfohlene Entformungsschräge abhängig von der Rauigkeit

VDI 3400 Klassen- auswahl	Rauigkeit R _a [µm] Arithmetischer Mitten-Rauwert	min. Entformungs- schräge x [°] VESTAMID® HT _{plus}
12 (fein)	0,40	1,0
15	0,56	1,0
18	0,80	1,2
21	1,12	1,2
24	1,60	1,5
27	2,24	1,5
30	3,15	1,8
33	4,50	2,0
36	6,30	2,5
39	9,00	3,0
42	12,50	4,0
45 (rau)	18,00	5,0

Temperierung

Bei den empfohlenen Werkzeugoberflächen-temperaturen bis 180 °C kann sowohl mit öl- als auch wasserbetriebenen Temperiersystemen gearbeitet werden, jedoch kann Wasser wegen der höheren Wärmekapazität und -leitfähigkeit, abhängig von Temperatur und Reynolds-Zahl die Wärme ca. zweimal schneller abführen. Auf spezielle Schläuche und Anschlusselemente, die für die hohen Einsatztemperaturen zugelassen sind, ist zu achten. Feste Verschraubungen der Werkzeugzuleitungen sind Steck- und Kuppelungssystemen vorzuziehen. Bei Einsatz von Stechkupplungen sollten die Innendurchmesser an den Übergangsstellen keine Verengungen darstellen, weil dies zur Reduzierung der Durchflussmengen und zusätzlichen Druckverlusten im System führt.

Ebenso sind die max. zulässigen Dauereinsatztemperaturen aller Dichtungen im Werkzeug zu beachten (Viton® bis 200 °C, Kalrez® bis 275 °C), sowie der Dichtungen in Hydraulikzylindern bei Kernzügen.

Zur Minimierung der Verluste durch Wärmestrahlung an die Umgebung können die Werkzeugaußenflächen mit Isolierplatten abgedeckt werden. Die Verwendung von wärmedämmenden Platten (z.B. Z121, Fa. Hasco) zwischen den Maschinenträgerplatten und dem Werkzeug ist zu empfehlen. Feststoffablagerungen wie Kesselstein und Rost in den Temperierkanälen führen zu deutlichen Wärmeübertragungsverlusten und können durch vorbeugende Wasserbehandlungsmaßnahmen wie Enthärtung und Konditionierung des Wassers mit geeigneten Chemikalien sowie einer Innenbeschichtung der Temperierkanäle mit chemisch Nickel vermieden werden.

In Tab. 5 sind Anhaltswerte zur Bestimmung der Heizleistung abhängig vom Werkzeuggewicht, der Aufheizzeit und der Temperaturdifferenz wiedergegeben. Näherungsweise kann nach folgender Formel gerechnet werden:
 Leistung [KW] = Gewicht [kg] x 0,5 (spez. Wärmekap. Stahl) x ΔT / 3600 (Aufheizzeit in s)

Tab. 5: Anhaltswerte der Heizleistung in Abhängigkeit vom Werkzeuggewicht

Werkzeuggewicht [kg]	Heizleistung [KW] bei 0,5 Std. Aufheizzeit und ΔT=140°C
bis 100	3 - 6 kW
bis 1000	bis ca. 40 kW

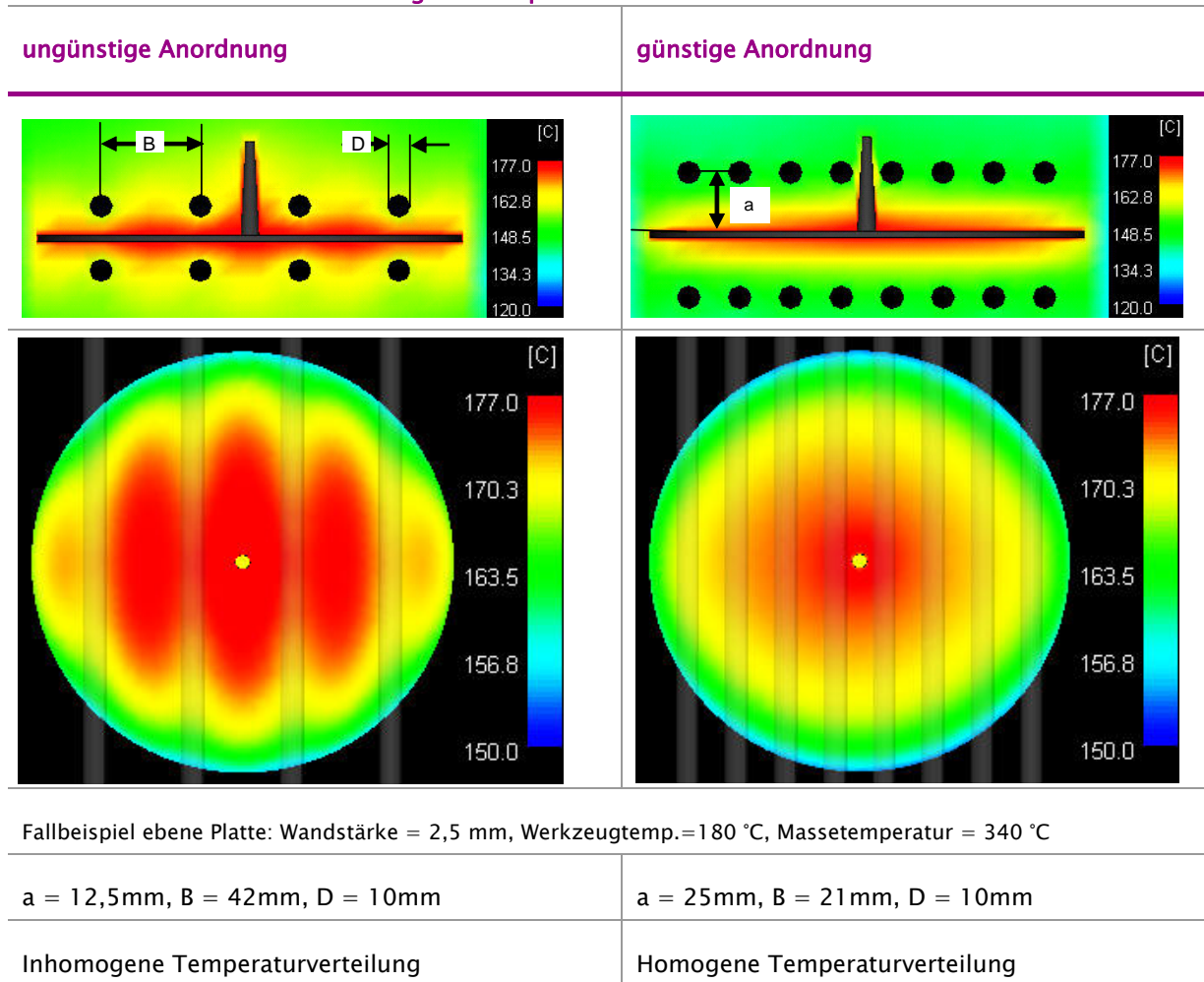
Um die hohen Qualitätsanforderungen an die Spritzlinge zu erfüllen, sollte eine gleichmäßige Temperaturverteilung über der formbildenden Oberfläche erreicht werden. In Abb. 8 ist der berechnete Isothermenverlauf einer günstigen und einer ungünstigen Temperierkanal-anordnung dargestellt.

Auf der rechten Abbildungshälfte wurden die in Tab. 6 empfohlenen Abstandsmaße (a, B und D) eingehalten, während die linke Hälfte eine un-günstige Anordnung darstellt, weil die Bohrungen zu nah (Maß a) an der Werkzeugwand und mit zu großem Abstandsmaß B eingearbeitet wurden. Die in der Simulation kreisförmig dar-gestellten Isothermen reduzieren die Verzugsneigung am Fertigteil.

Tab. 6: Empfehlungen zu Temperierkanaldurchmesser und -abständen (Quelle: Fa. GWK)

Wanddicke s [mm]	Abstand Bohrungsmitte / Spritzling [a]	Abstand Bohrungsmitte / Bohrungsmitte [B]	Durchmesser Kühlbohrung [D]
bis 1,0	11,3 – 15,0	10,0 – 13,0	4,5 – 6,0
1,0 – 2,0	15,0 – 21,0	13,0 – 19,0	6,0 – 8,5
2,0 – 4,0	21,0 – 27,0	19,0 – 23,0	8,5 – 11,0
4,0 – 6,0	27,0 – 35,0	23,0 – 30,5	11,0 – 14,0
6,0 – 8,0	35,0 – 50,0	30,5 – 40,0	14,0 – 18,0

Abb. 8: Unterschiedliche Anordnung der Temperierkanäle zur Artikeloberfläche



Schwindung

Tab. 7: Verarbeitungs- und Nachschwindung von VESTAMID® HTplus

VESTAMID® HTplus (Platte 60x60x2mm ³)		Zylinder/ Wz.temp. [°C]	Nach- druck [bar]	Verarbeitungs- schwindung		Gesamtschwindung nach 5 h/170 °C Lagerung	
				längs [%]	quer [%]	längs [%]	quer [%]
PA 6T/X	M1000	340/160	600	1,3	1,5	1,5	1,7
	M1900(FR)	340/160	600	1,3	1,6	1,4	1,8
PA 6T/X GF-verstärkt	M10315	340/160	600	0,6	0,9	0,7	1,0
	M1033 M1633 R1033	340/160	600	0,2	0,9	0,3	1,0
	M1933(FR)	340/160	600	0,2	0,9	0,2	1,0
	M10345 M1035 M1634 M1635 R1035	340/160	600	0,1	0,7	0,1	0,8
	M1036 M1636	340/160	600	<0,1	0,5	0,1	0,6
PA 10T/X	M3000	310/140	600	1,4	1,5	1,7	1,8
	M3033	310/140	600	0,3	0,8	0,4	1,0
	M3035	310/140	600	0,1	0,7	0,2	0,9

FR = mit Flammschutzmittel

Verarbeitungsbedingungen

Für die erfolgreiche Verarbeitung von VESTAMID® HT*plus* empfehlen wir folgende Verarbeitungstemperaturen:

Tab. 8: Empfehlung für Verarbeitungstemperaturen

VESTAMID® HT <i>plus</i>	Glasübergang- temperatur T _g [°C]	Schmelz- temperatur [°C]	Masse- temperatur [°C]	Trocknung [h/°C]	Werkzeug- temperatur [°C]
M1000 (Basis)	125	315	320 - 345	4/120	140 - 180
M1900 (FR)	125	315	320 - 330	4/120	140 - 180
M10315 (15% GF)	125	315	330 - 345	4/120	140 - 180
M1033 (30% GF)	125	315	330 - 345	4/120	140 - 180
M1533 (30% GF)	125	315	330 - 345	4/120	140 - 180
M1633 (30% GF)	125	315	330 - 345	4/120	140 - 180
M1933 (FR, 30% GF)	125	315	320 - 330	4/120	140 - 180
M1634 (FR, 40% GF)	125	315	320 - 330	4/120	140 - 180
M1035 (50% GF)	125	315	330 - 345	4/120	140 - 180
M1635 (50% GF)	125	315	330 - 345	4/120	140 - 180
M1036 (60% GF)	125	315	330 - 345	4/120	140 - 180
M1636 (60% GF)	125	315	330 - 345	4/120	140 - 180
M3000	125	285	300 - 330	4/120	140 - 160
M3033 (30% GF)	125	285	300 - 330	4/120	140 - 160
M3035 (50% GF)	125	285	300 - 330	4/120	140 - 160
R1033 (K&K)	125	315	330 - 345	4/120	140 - 180
R1133 (K&K)	125	315	330 - 345	4/120	140 - 180
R1035 (K&K)	125	315	330 - 345	4/120	140 - 180

Das Zylindertemperaturprofil ist leicht ansteigend einzustellen, wobei die Einzugstemperatur 10 bis 20 °C niedriger als die letzte Zylinderheizzonentemperatur eingestellt werden sollte.

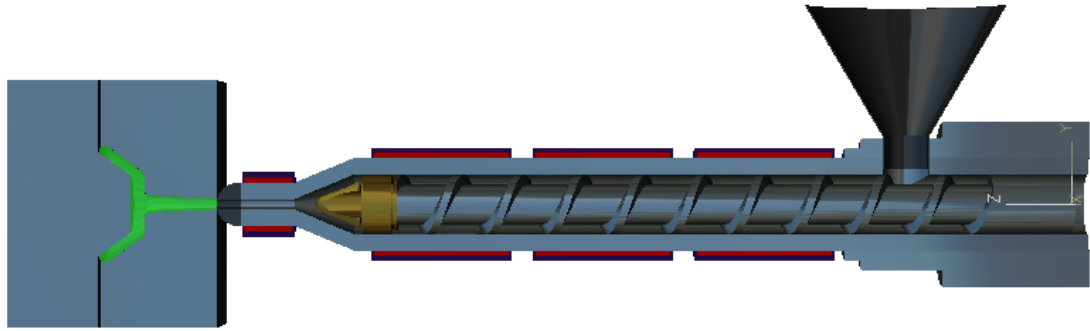
Die optimale Massetemperatur hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie Verweilzeit im Plastifizierzylinder und der Werkzeug- und Formteilkonstruktion (z.B. Fließweg/Wand-dickenverhältnis) des Spritzlings.

Als Anfangstemperaturen können die in Tab. 8 empfohlenen Masse- bzw. Schmelzetemperaturen eingestellt werden. Bei kurzen Verweilzeiten und geringen Wanddicken können diese um 5 bis 10 °C erhöht werden.

Ein weiteres Überschreiten der empfohlenen Temperaturen kann zu Materialschädigungen führen und ist zu vermeiden. Die Schmelzetemperaturen können z.B. durch Einstichthermometer in der Schmelze überprüft werden.

Für die Verarbeitung der flammgeschützten Formmassen VESTAMID® HT*plus* M1900 und VESTAMID® HT*plus* M1933 empfehlen wir eine maximale Temperaturobergrenze von 335 °C in der gesamten Prozesskette und den Einsatz korrosions- und verschleißgeschützter Werkzeugstähle.

Richtwerte für Zylinder- und Werkzeugtemperaturen sind in Tab. 9 aufgeführt.



Tab. 9: Anhaltswerte für Zylinder- und Werkzeugtemperaturen

	Werkzeug- temperatur [°C]	Düse [°C]	Zone 3 [°C]	Zone 2 [°C]	Zone 1 [°C]	Trichter [°C]
M1000 PA 6T/X unverstärkt	140 - 180	320 - 340	320 - 340	310 - 330	300 - 320	40 - 100
M1033, M1035 PA 6T/X verstärkt	140 - 180	330 - 345	330 - 345	320 - 340	310 - 330	40 - 100
M3000 PA 10T/X unverstärkt	140 - 160	310 - 330	310 - 330	300 - 320	280 - 300	40 - 80
M3033, M3035 PA 10T/X verstärkt	140 - 160	310 - 330	310 - 330	300 - 320	290 - 310	40 - 80

Schneckendrehzahl,

Schneckenumfangsgeschwindigkeit

Umfangsgeschwindigkeit: < 300 mm/sec
 Beispiel: Drehzahl < 190 U/min bei 30 mm
 Schneckendurchmesser

Höhere Umfangsgeschwindigkeiten sind nicht ratsam, da es bei gefülltem Material zur Schädigung von Fasern und infolge großer lokaler Scherwirkungen zu einer Überlastung der Schmelze kommen kann. Beim Dosieren sollte die gesamte Kühlzeit ausgenutzt werden.

Staudruck

Staudrücke bis 5 MPa verbessern die Schmelze-homogenität. Bei verstärkten VESTAMID® HTplus Typen empfiehlt sich eher ein geringerer Staudruck, um die Füllstoffe möglichst schonend zu verarbeiten und die mechanischen Eigenschaften zu erhalten.

Dekompression

Bei Schmelzeaustritt aus der offenen Düse wird ein Dekompressionsweg von ca. 3 bis 5 mm empfohlen.

Einspritzgeschwindigkeit

Die Einspritzgeschwindigkeit ist wesentlich von der Artikelgestalt und der Fließweglänge abhängig.

Die Spritzdruckbegrenzung sollte so hoch eingestellt werden, dass eine reproduzierbare, geregelte Einspritzgeschwindigkeit erreicht wird, d.h. der benötigte Spritzdruck sollte ca. 10 % unterhalb der Spritzdruckbegrenzung liegen. Für kurze Füllzeiten sind Speichermaschinen zu empfehlen.

Spritzdruck

Die Spritzgießmaschine sollte für Spritzdrücke bis min. 200 MPa ausgelegt sein, wobei der erforderliche Spritzdruck wesentlich von der Schmelze- und Werkzeugtemperatur wie auch vom Fließweg-Wanddickenverhältnis des Bauteils abhängig ist.

Nachdruck

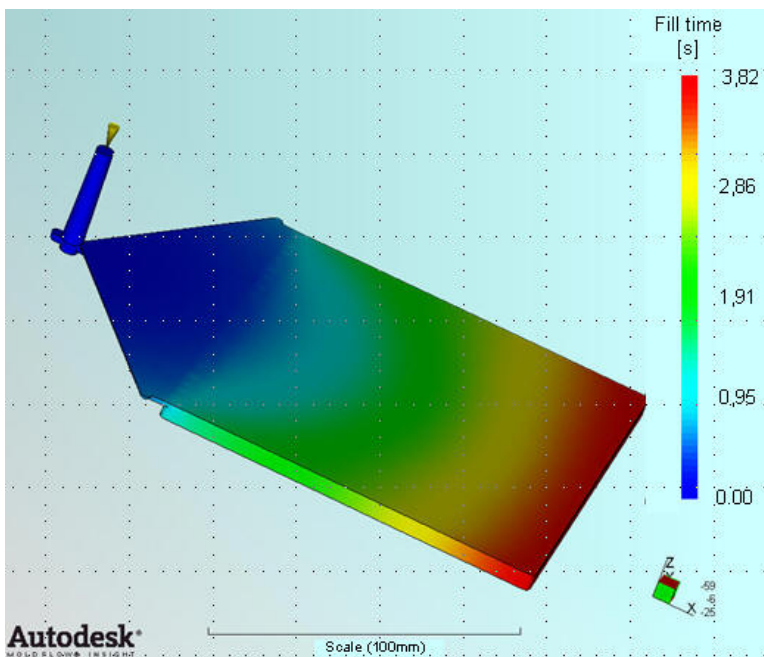
In der Regel sollten Nachdrücke so hoch gewählt werden, dass keine Einfallstellen oder Lunkerbildungen auftreten. Eine ausreichende Druckübertragung vom Spritzzylinder zum Formnest wird durch ein Massepolster von ca. 3 bis 5 mm (je nach Schneckendurchmesser) sichergestellt. Das Angussystem muss groß genug dimensioniert sein, um eine ausreichend lange Nachdruckzeit auf das Formteil wirken zu lassen.

Die optimale Nachdruckzeit kann durch eine Siegelpunktermittlung bestimmt werden. Zu kurze Nachdruckzeiten können zu Einfallstellen und Vakuolen aufgrund unzureichender Materialzuführung aus dem Schneckenorraum führen.

Kühlzeit

Grobe Richtwerte für die erforderliche Kühlzeit in Abhängigkeit der Wandstärke und Werkzeugoberflächentemperatur auf Basis einer Simulationsberechnung sind in Tab. 10 angegeben. Die Berechnung erfolgte für eine quadratische Platte mit 130 mm Seitenlänge (Abb. 9), verschiedenen Wanddicken und homogener (isothermer) Oberflächentemperatur mittels Autodesk Moldflow Berechnungen. Ungleiche Werkzeugoberflächentemperaturen verlängern die erforderlichen Abkühlzeiten, wobei eine um 10 °C höhere Werkzeugtemperatur die Abkühlzeit um ca. 20 % verlängert. Bei komplexen Bauteilgeometrien sollte die Kühlzeit auf die max. Wandstärke bezogen werden.

Abb. 9: Platte 130 x 130mm²



Tab.10: Berechnete Kühlzeiten bei 200 °C Artikeltemperatur (Entformungstemperatur) und verschiedenen Wandstärken am Beispiel einer Platte 130 x 130 mm²

Wanddicke [mm]	Kühlzeit für VESTAMID® HTplus : Summe aus Nachdruck- und Restkühlzeit [s]					
	M1000		M1033		M1035	
	WT 140°C	WT 160°C	WT 140°C	WT 160°C	WT 140°C	WT 160°C
1	4	5	3	4	3	4
2	11	12	8	10	7	8

3	21	25	15	20	13	16
4	34	42	26	32	22	26

WT = Werkzeugtemperatur

Produktionsunterbrechungen

Bei kurzen Produktionsunterbrechungen bis zu zehn Minuten empfiehlt sich vor abermaligem Produktionsstart ein mehrmaliges Ausspritzen der Schmelze ins Freie.

Bei längeren Stillstandzeiten >15 Minuten empfiehlt sich das Zwischenspülen mit einem hochviskosen PP, einem glasfaserverstärkten PA66 oder einem geeigneten Reinigungsgranulat (siehe „Reinigung“).

Ausgehend von oben genannten Hinweisen ist die optimale Prozesseinstellung für den jeweiligen Prozess zu ermitteln.

Handhabung und Sicherheit:

Da VESTAMID® HT*plus* mit einem Feuchtgehalt <0,1 % ausgeliefert wird empfiehlt sich eine Trocknung vor der Verarbeitung i.d.R. im Trockenlufttrockner. Angefangene Säcke nehmen bereits nach wenigen Stunden wieder Feuchtigkeit auf und sollten vor nochmaliger Verwendung wieder getrocknet werden.

Bei der Verarbeitung, besonders beim Ausspritzen, bei Materialwechsel und Reinigung des Spritzzylinders empfehlen wir die üblichen Schutzmaßnahmen zu treffen (Absaugung einschalten, Schmelzekuchen ins Wasserbad eintauchen) und die üblichen Schutzkleidungen anzulegen. Da die eingestellten Werkzeugtemperaturen bis 180 °C betragen können, sollten auch beim Hantieren mit solchen Werkzeugen Vorsichtsmaßnahmen gegen Verbrennungen getroffen werden.

Schutzvorrichtungen der Spritzgieß-Maschine (Spritzschutz, Schiebetür) dürfen nicht außer Kraft gesetzt werden. Fehlerhaftes Verhalten, besonders beim Ausspritzen und Reinigen der Spritzeinheit kann zu Hautverletzungen durch Materialkontakt führen.

Quellenverzeichnis der Abbildungen

- Ampco Metal, 82538 Geretsried
- BAWEMA, 90530 Wendelstein
- DME, 58511 Lüdenscheid
- GÜNTHER Heisskanaltechnik GmbH, 35066 Frankenberg
- GWK Gesellschaft Wärme Kältetechnik mbH, 58566 Kierspe
- Hasco Hasenclever GmbH & Co. KG, 58513 Lüdenscheid
- Meusburger GmbH & Co. KG, 6960 Walfurt, Österreich
- Motan-colortronic GmbH, 88316 Isny
- STRACK NORMA GmbH & Co. KG, 58511 Lüdenscheid
- Synventive Molding Solutions, 64625 Bensheim
- Uddeholm, 40549 Düsseldorf
- WEMA GmbH, 58515 Lüdenscheid

Kontakte

Dr. Karl Kuhmann
karl.kuhmann@evonik.com

Guenther Schulz
guenter.schulz@evonik.com

® = eingetragene Marke

September 2012

Unsere Informationen entsprechen unseren heutigen Kenntnissen und Erfahrungen nach unserem besten Wissen. Wir geben sie jedoch ohne Verbindlichkeit weiter. Änderungen im Rahmen des technischen Fortschritts und der betrieblichen Weiterentwicklung bleiben vorbehalten. Unsere Informationen beschreiben lediglich die Beschaffenheit unserer Produkte und Leistungen und stellen keine Garantien dar. Der Abnehmer ist von einer sorgfältigen Prüfung der Funktionen bzw. Anwendungsmöglichkeiten der Produkte durch dafür qualifiziertes Personal nicht befreit. Dies gilt auch hinsichtlich der Wahrung von Schutzrechten Dritter. Die Erwähnung von Handelsnamen anderer Unternehmen ist keine Empfehlung und schließt die Verwendung anderer gleichartiger Produkte nicht aus.

Evonik Industries AG High Performance Polymers 45764 Marl
TEL +49 2365 49-9227 E-MAIL evonik-hp@evonik.com www.vestamid.de



EVONIK
INDUSTRIES