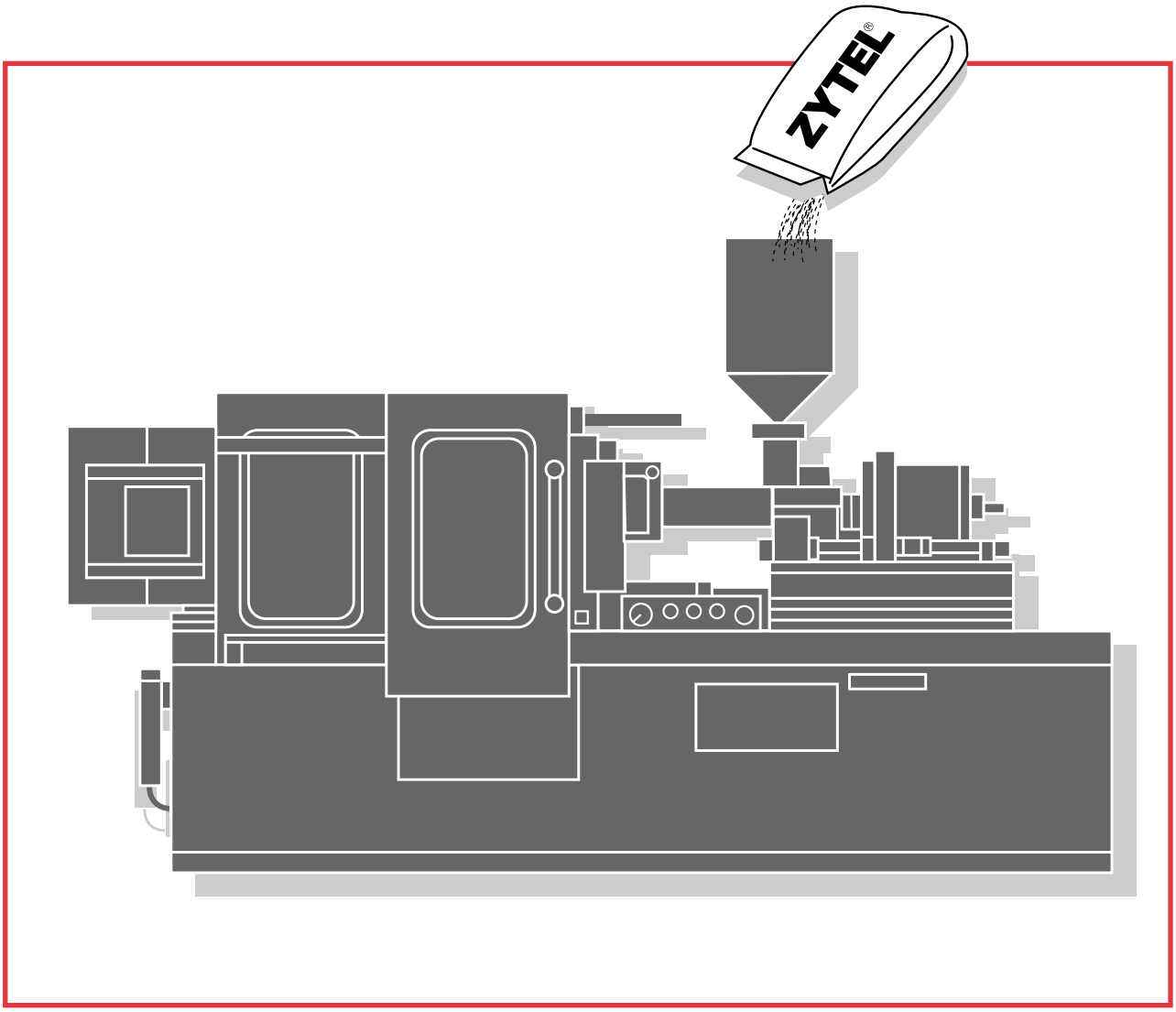
Technische Kunststoffe

Anleitung für die Spritzgießverarbeitung von MINLON® und ZYTEL® von DuPont



Starten Sie mit
technischen Kunststoffen
von DuPont

® Eingetragenes Warenzeichen von DuPont

Inhaltsverzeichnis

Teil I

Seite

1. Vorwort ... 1

1.1 Sicherheitsvorkehrungen ... 1

2. Eigenschaften der Schmelze ... 3

2.1 Materialstruktur ... 3
2.1.1 Kristallinität ... 3
2.1.2 Volumenänderungen ... 3
2.2 Wärmebedarf ... 3
2.3 Viskosität der Schmelze ... 4
2.3.1 Viskosität der Schmelze in Abhängigkeit der Temperatur ... 4
2.3.2 Viskosität der Schmelze in Abhängigkeit der Schergeschwindigkeit ... 4
2.3.3 Viskosität der Schmelze in Abhängigkeit der Feuchtigkeit ... 5
2.3.4 Relative Viskosität ... 5
2.3.5 Schmelzetemperatur und Schmelzpunkt ... 5
2.4 Fließweglänge ... 5
2.5 Stabilität der Schmelze ... 6
2.5.1 Hydrolytischer Abbau ... 6
2.5.2 Thermischer Abbau ... 6
2.6 Messung der Schmelzeviskosität in der Werkzeugkavität ... 7

3. Materialhandhabung ... 8

3.1 Materialanlieferung ... 8
3.1.1 Lieferform der Kunststoffe ... 8
3.1.2 Verpackung ... 8
3.2 Handhabung von Polyamiden ... 8
3.2.1 Lagerung ... 8
3.2.2 Handhabung von Neumaterial ... 8
3.2.3 Handhabung von Mahlgut ... 8
3.2.4 Entsorgung von Materialabfällen ... 10
3.3 Einfluß der Feuchtigkeit ... 10
3.4 Trocknen ... 10
3.5 Einfärben ... 11
3.6 Qualitätskontrolle ... 12
3.6.1 Kunststoffspezifikation ... 12
3.6.2 Spezifikationen für Formteile ... 12

4. Spritzgießmaschine ... 14

4.1 Anforderungen an die Maschine ... 14
4.2 Maschinenauslegung ... 14
4.2.1 Trichter-Einfüllöffnung ... 15
4.2.2 Zylinder ... 15
4.2.3 Schneckengeometrie ... 16
4.2.4 Rückstromsperre ... 17
4.2.5 Düse ... 17
4.2.6 Verschlußdüse ... 17
4.2.7 Beseitigung von Stagnationszonen ... 18
4.3 Instandhaltung und Sicherheitsvorkehrungen ... 18

Seite

5. Werkzeugkonstruktion ... 19

5.1 Konstruktionwerkstoffe ... 19
5.2 Angußverteilersysteme ... 19
5.2.1 Angüsse ... 19
5.2.2 Angußverteiler ... 19
5.2.3 Anschnitte ... 20
5.3 Entlüftung ... 21
5.4 Hinterschneidungen und Entformungsschrägen ... 22
5.5 Wärmeregelkreis des Werkzeugs ... 22
5.6 Heißkanalwerkzeuge ... 22

6. Maschinenparameter ... 25

6.1 Schmelzetemperatur ... 25
6.2 Zylindertemperaturprofil ... 25
6.3 Düsentemperatur ... 25
6.4 Einspritzgeschwindigkeit und Einspritzdruck ... 26
6.4.1 Dynamischer Druckverlust ... 27
6.5 Nachdruck und Nachdruckzeit ... 27
6.5.1 Nachdruck ... 27
6.5.2 Nachdruckzeit ... 27
6.6 Schneckendrehzahl und Staudruck ... 28
6.7 Dekompression ... 29
6.8 Werkzeugtemperatur ... 29
6.9 Kühlzeit ... 30
6.10 Ausformen des Formteils ... 30

7. Bedienung der Spritzgießmaschine ... 31

7.1 Anfahren ... 31
7.2 Zyklusunterbrechungen ... 31
7.3 Abstellen ... 31
7.4 Reinigen ... 31

8. Maßänderungen während und nach der Verarbeitung ... 32

8.1 Formschwindung ... 32
8.2 Einfluß der Wasseraufnahme auf die Abmessungen ... 33
8.3 Nachschwindung und Tempern ... 34
8.4 Verzug ... 34
8.5 Toleranzbereich von Formteilen ... 34

Teil II

Kennwerte für die Verarbeitung und kurze Beschreibung der Kunststoffe.

1. Vorwort

Dieses Handbuch umfaßt zwei Teile. Der erste Teil gibt einen umfassenden Überblick über die Spritzgießverarbeitung von Polyamiden und dient einem besseren Verständnis der Abläufe während des Verarbeitungsprozesses. Die Polymerkennwerte und Verarbeitungsrichtlinien dienen mehr einem Vergleich der verschiedenen Eigenschaften unterschiedlicher Polyamidgruppen und stellen weniger eine ausführliche Beschreibung der Eigenschaften verschiedener Typen dar. Eine Unterteilung der Polyamidgruppen wird in dem Abschnitt «Spritzgießen von Polyamiden» erläutert.

Der zweite Teil umfaßt Tabellen mit den wichtigsten Maschinenparametern, die während der Spritzgießverarbeitung empfohlen werden. Die komplette Palette an Polyamiden von DuPont wird aufgelistet.

Spritzgießen von Polyamiden

Obwohl MINLON® und ZYTEL® Polyamide seit über 50 Jahren im Spritzgießeinsatz sind ist eine Optimierung der Verarbeitungsbedingungen nach wie vor wichtig, um die Materialeigenschaften der Fertigprodukte voll auszuschöpften. Grundsätzlich umfaßt das Verfahren das Aufschmelzen der festen Granulate, das Dosieren der Polymerschmelze und das Einspritzen in ein Werkzeug, in dem die Schmelze unter Nachdruckwirkung kristallisieret.

Jeder Polyamidtyp weist eigene, spezielle Verarbeitungsmerkmale auf, die berücksichtigt werden müssen, bevor er erfolgreich zu Formteilen verarbeitet wird, die das erwartete Qualitätsniveau aufweisen. Die Maschinenparameter beeinflussen in hohem Maße die Formteilqualität sowie Bindenahtfestigkeit, Oberflächenqualität und Dimensionsstabilität. Die optimalen Verarbeitungsbedingungen für ein gegebenes Produkt hängen sowohl vom verwendeten Polyamidtyp als auch von den Modifikatoren und Additiven ab.

Aufgrund der grundlegenden Kenntnis dieses Verhaltens der Schmelze wird der Einfluß verständlich, den Änderungen eines Verarbeitungsparameters auf die Formteilqualität ausübt. Abschnitt 2 beschäftigt sich mit diesem Aspekt.

Viele Empfehlungen in dieser Broschüre gelten für die Mehrzahl der Polyamide von DuPont. Um die Verarbeitungsrichtlinien zu vereinfachen und leicht verständlich zu machen, wurden die Typen nach ihrer chemischen Zusammensetzung unterteilt.

Die Polyamidgruppen von DuPont

ZYTEL® und MINLON® Polyamide werden nach ihrer chemischen Zusammensetzung in folgende Gruppen aufgeteilt:

– Polyamid 66
– Polyamid 6
– Polyamid 66/6 Copolymere
– Polyamid 66/6 Mischungen
– Polyamid 612
– Transparentes amorphes Polyamid

Die Hauptmerkmale der ZYTEL® Polyamide sind:

– hohe mechanische Festigkeit
– hervorragende Ausgewogenheit an Steifigkeit/Zähigkeit
– gute Beständigkeit gegen hohe Temperaturen
– gute elektrische und flammwidrige Eigenschaften
– gute Abrieb- und Chemikalienbeständigkeit

Eigenschaften wie Schmelzpunkt, Feuchteaufnahme und Biege-E-Modul werden vorrangig vom Polyamidtyp bestimmt. Das Molekulargewicht des Polyamids ist für die Viskosität der Schmelze und die Schlagzähigkeit verantwortlich.

Außerdem können Polyamide direkt modifiziert und verstärkt werden, um eine breitere Produktpalette mit maßgeschneiderten Eigenschaften für spezielle Verfahren und Anwendungen anbieten zu können.

Die folgenden wichtigen ZYTEL® Polyamidgruppen werden in dieser Broschüre beschrieben:

– unverstärkte Typen
– schlagzäh-/hochschlagzähmodifizierte Typen
– glasfaserverstärkte Typen
– mineral-/glasfaserverstärkte Typen
– flammwidrige Typen
– hochviskose/Extrusionstypen
– Spezialtypen

1.1 Sicherheitsvorkehrungen

Wie bei den meisten thermoplastischen Kunststoffen sind in der Regel mit der Verarbeitung von ZYTEL® und MINLON® Polyamiden keine Sicherheitsrisiken verbunden. Es empfiehlt sich jedoch, folgende mögliche Gefahrenpunkte zu beachten:

- Thermische Effekte
- Gase und Feststoffpartikel
- Rutschgefahr

1.1.1 Thermische Effekte

Hautkontakt mit Polymerschmelze aus ZYTEL® und MINLON® kann schwere Verbrennungen hervorrufen. Dies kann geschehen, wenn Gase einen hohen Druck im Zylinder aufbauen und Polymerschmelze geschoßartig durch die Düse oder den Trichter ausgestoßen wird.

Um die Unfallgefahr auf ein Minimum zu reduzieren, sollten die Hinweise in diesem Handbuch genauestens befolgt werden. Potentielle Gefahrenquellen müssen vorab erkannt und entweder beseitigt oder durch nachfolgend beschriebene Maßnahmen gesichert werden. Dazu gehört auch die Verwendung von Schutzvorrichtungen und das Tragen von Schutzbekleidung.

Lassen sie den Kunststoff nicht länger als 15 Minuten bei Schmelzetemperatur in der Spritzgießmaschine. Falls dies, beispielsweise während einer Zyklusunterbrechung geschieht, ist besondere Vorsicht beim Reinigungsvorgang geboten. Beachten Sie besonders den Abschnitt 4: Spritzgießmaschine.

Stellen Sie beim Reinigen sicher, daß die Hochleistungspumpe (Booster) abgestellt und eine Schutzabdeckung eingesetzt ist. Reduzieren Sie den Einspritzdruck und fahren Sie die Schnecke stückchenweise vor, um die Gefahr von Gaseinschlüssen im Zylinder und damit ein schlagartiges Ausspritzen des Materials auf ein Minimum zu reduzieren. Lagern Sie das ausgespritzte Material in einem wassergefüllten Behälter, um Gas- und Geruchsbildung zu unterdrücken.

Falls ein Kunststoffabbau befürchtet wird [1], sollte eine Schutzabdeckung angebracht, die Düse vom Werkzeug abgehoben und die Schnecke gedreht werden, um den Zylinder zu leeren. Nach Beginn der Schneckendrehung sollte die Einfüllöffnung geschlossen und anschließend ein geeignetes Reinigungsmittel (HDPE) eingeführt werden. Die Temperatur kann dann allmählich gesenkt und die Maschine abgestellt werden. Ausführlichere Informationen finden Sie unter «Reinigen» in Abschnitt 4: Spritzgießmaschine.

Wenn beim Starten des Einspritzvorgangs oder des Dosierens keine Schmelze aus der Düse austritt, kann ein kalter Pfropfen vorhanden sein. In diesem Falle schalten Sie die Zylinderheizungen wie zuvor ab und befolgen Sie Ihre geltenden Sicherheitsmaßnahmen. Rechnen Sie immer damit, daß bei hohen Drücken hinter der Düse Gas eingeschlossen sein kann, das unerwartet austritt. In solchen Fällen sollten ein Gesichtsschutz und Stulpenhandschuhe getragen werden.
Vor dem Neustart sind sowohl die Maschine als auch das Material zu untersuchen, um den Grund für den Abbau zu ermitteln.

Falls die Polymerschmelze mit Haut in Kontakt kommt, kühlen Sie die betreffende Stelle sofort mit Wasser oder Eis und konsultieren Sie einen Arzt zur Behandlung der Verbrennungen.

Versuchen Sie nicht, den Kunststoff von der Haut abzuziehen. Informationen hierzu finden Sie im Sicherheitsdatenblatt (MSDS). Bei weiteren Fragen wählen Sie die im Sicherheitsdatenblatt angegebene Rufnummer.

Da glasfaserverstärkte ZYTEL® und MINLON® Polyamide bei hohen Temperaturen getrocknet werden, kann der Kontakt mit heißen Trichtern, Öfen oder Luftschläuchen schwere Verbrennungen hervorrufen. Eine Isolierung dieser Komponenten wird diese Gefahr reduzieren.

1.1.2 Gase und Feststoffpartikel

Kleine Mengen an Gasen und Feststoffpartikeln werden während der Trocknung, Reinigung und Verarbeitung freigesetzt. Wie bei allen Kunststoffen, empfehlen wir prinzipiell eine angemessene Entlüftung während der Verarbeitung von MINLON® und ZYTEL® Kunststoffen. Eine Entlüftungsrate von etwa 5 m^3 Luft/min. pro kg/h an verarbeitetem Kunststoff hält die Konzentration von Feststoffpartikeln (und Gasen) gut unterhalb des Grenzwertes (Europa) von 5 mg/m^3 für Stäube, falls mit maximal empfohlenen Zeiten und Temperaturen (Verarbeitung, Reinigung und Trocknung) gearbeitet wird. Weitere Einzelheiten entnehmen Sie der Broschüre «Korrekter Einsatz lokaler Entlüftungssysteme während der Kunststoffverarbeitung» von DuPont, die von Ihrer DuPont Vertretung erhältlich ist.

1.1.3 Sicherheitsinformation

DuPont fügt jeder Erstlieferung von ZYTEL® und MINLON® Sicherheitsdatenblätter (MSDS) für seine Kunden sowie überarbeitete Datenblätter bei Folgeaufträgen bei. Diese Datenblätter enthalten Informationen über gefährliche Komponenten, Gesundheitsgefährdungen, Richtlinien für Notfälle und Erste Hilfe, Entsorgungsverfahren und Lagerung.

1.1.4 Rutschgefahr

Auf dem Boden verstreute ZYTEL® und MINLON® Granulate stellen eine Rutschgefahr dar und sind nach dem Verschütten sofort zu entfernen.

1.1.5 Verarbeitung von Mahlgut

Bei der Aufbereitung von Abfällen sollte die Anlage grundsätzlich neben modernsten Sicherheitsvorrichtungen mit einem ausreichenden Geräusch- und Staubschutz ausgestattet sein. Siebe, Filter und Entlüftungssysteme in gutem Betriebszustand sind zu verwenden. Das Bedienpersonal sollte angemessene Körperschutzkleidung, Handschuhe und Schutzbrillen tragen.

1 Übermäßiger Gasaustritt aus der Düse, stark verfärbtes Polymer, Schneckenrücklauf hinter Ende Dosierweg

2. Eigenschaften der Schmelze

Die physikalischen Eigenschaften einer Polymerschmelze bestimmen ihre Verarbeitungsbedingungen. Hierzu gehören:

- Die gesamte, grundsätzlich teilkristalline Molekularstruktur sowie deren Beeinflussung durch Temperatur- und Druckänderungen.
- Der Energiegehalt (spezifische Wärme und latente Wärme).
- Das Fließverhalten der Schmelze und insbesondere die Viskosität als wichtigster rheologischer Parameter.
- Die Kristallisationsgeschwindigkeit des Kunststoffes.
- Die thermische Stabilität des Kunststoffes, insbesondere bei hohen Temperaturen und Anwesenheit von Wasser.

2.1 Materialgefüge

2.1.1 Kristallinität

Die meisten Polyamide weisen eine teilkristalline Struktur auf. Das heißt, daß ein Teil des Polymers in einer bestimmten geordneten und regelmäßigen kristallinen Struktur erstarrt. Der andere Teil erstarrt in einem amorphen Zustand, der kein übergeordnetes Ordnungssystem aufweist.

Während des Kristallisationsprozesses falten sich die Moleküle zu Lamellen zusammen, die normalerweise verketten und Sphärolithe bis zu 0,2 mm Durchmesser bilden. Falls sich die Lamellen in einer Richtung orientieren, wie es häufig auf der Formteiloberfläche der Fall ist, ist die Materialzone transparent.

Grundsätzliche Strukturunterschiede zwischen teilkristallinen und amorphen Polymeren führen zu unterschiedlichen Eigenschaften («kohäsive Energie» verstärkt die Eigenschaften) und Verarbeitungsbedingungen.

Im Gegensatz zu amorphen Materialien sind die wichtigsten Eigenschaften kristalliner Materialien folgende:

- Große Volumenänderungen bei Temperaturen, bei denen ein Übergang vom festen in den flüssigen Zustand und umgekehrt stattfindet
- Der Wärmebedarf für das Aufschmelzen des Polymers ist hoch

Aufgrund dieser beiden Merkmale in Verbindung mit den anderen Eigenschaften besteht im Gegensatz zu amorphen Materialien selbst bei sehr hohen Einspritz- und Nachdrücken keine Gefahr des Überfüllens.

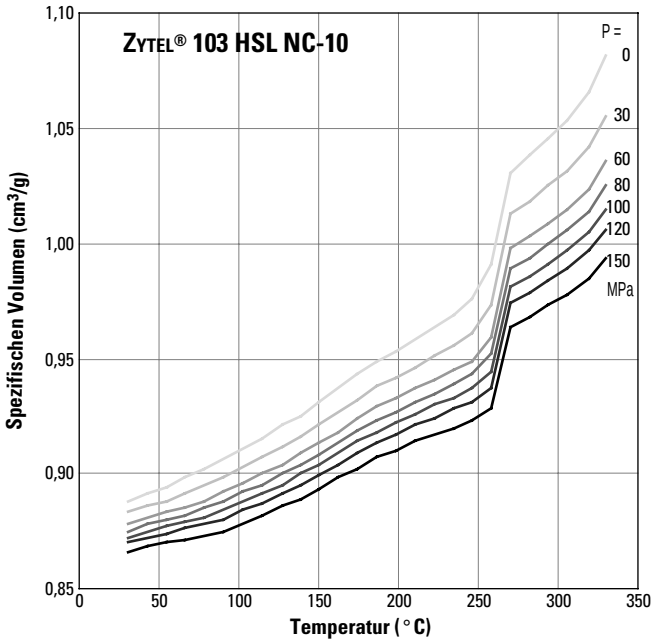
2.1.2 Volumenänderung

Volumenänderungen werden in der Regel als spezifisches Volumen ausgedrückt, das eine Umkehrung der Dichte ist. Bei teilkristallinen Materialien ist das spezifische Volumen abhängig von der Temperatur, dem Druck und dem Kristallinitätsgrad im festen Zustand.

Einige durch Versuche ermittelte Kurvenverläufe des spezifischen Volumens von unverstärktem ZYTEL® werden in Abbildung 1 dargestellt. In der flüssigen oder aufgeschmolzenen Phase ist das spezifische Volumen weitaus größer als in der festen Phase. Während des Formgebungsprozesses wird die Schmelze mit Druck beaufschlagt, in der Regel 70 MPa. Dies bedeutet während der Kristallisation der Schmelze eine kleinere Volumenänderung als bei Nulldruck. Die Schwindung ist eine direkte Folge der Kristallisation der Schmelze. Da die Schwindung so gering wie möglich gehalten werden soll, ist die Schmelze solange mit Druck zu beaufschlagen, bis sie vollständig kristallisiert ist.

Im festen Zustand weisen Polyamide einen Kristallisationsgrad zwischen 40 und 60% auf. Die entsprechende Kurve in Abbildung 1 spiegelt die Bandbreite dieser Schwankung sowie die anderen Faktoren wider, welche die kristalline Struktur beeinflussen.

Abb. 1 Druck-Volumen-Temperaturdiagramm (spezifisches Volumen als Funktion der Temperatur und des Druckes)



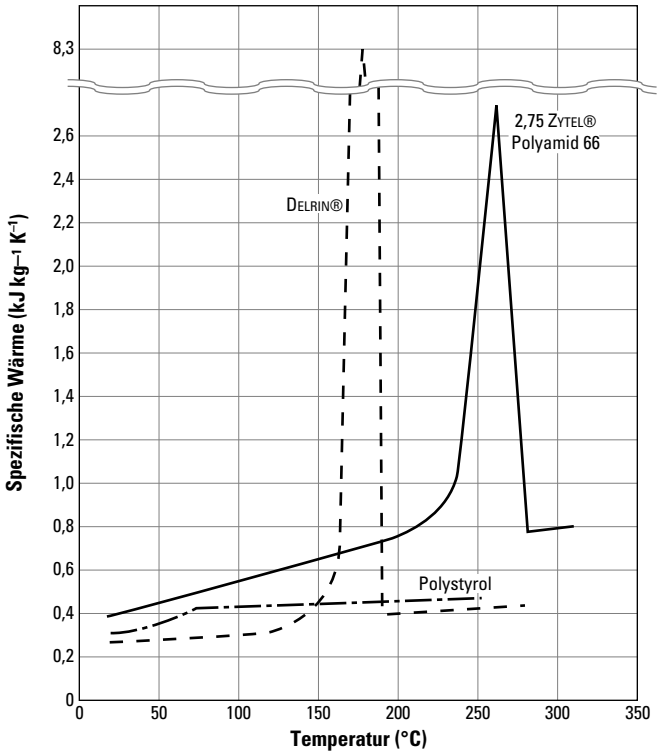
In der Gruppe der Polyamide weisen Polyamide 66 den höchsten Kristallinitätsgrad auf. Dies hat einen beträchtlichen Einfluß auf viele Eigenschaften des Endproduktes, darunter mechanische Eigenschaften, Feuchteaufnahme und Chemikalienbeständigkeit.

2.2 Wärmebedarf

Die für einen Temperaturanstieg eines Polymers erforderliche Energie wird in der Regel von seiner spezifischen Wärme bestimmt. Diese wird definiert als die Wärmemenge, die erforderlich ist, um die Temperatur von 1 kg Material um 1° C zu erhöhen. Bei Materialien mit einer kristallinen Struktur ist zusätzliche Wärme erforderlich, um die Kristallite aus dem festen in einen

flüssigen Zustand zu bringen. Diese Energie wird durch eine Temperaturspitze auf der spezifischen Wärmekurve dargestellt.

Abb. 2 Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärme



Der gesamte erforderliche Wärmebedarf zum Erreichen der Verarbeitungstemperatur liegt somit für alle Kunststoffe im Bereich unterhalb jeder Kurve. Daraus folgt, daß kristalline Kunststoffe eine höhere Wärmeenergie erfordern als amorphe Kunststoffe und unverstärkte Polyamide im Vergleich zu beispielsweise Polystyrol doppelt soviel Wärme benötigen, wie aus Tabelle 1 ersichtlich ist.

Tabelle 1 Wärmebedarf für die Verarbeitung

Kunststoff	Kristallit Schmelzwärme (kJ/kg)	Gesamte erforderl. Wärme (kJ/kg)
Polystyrol	160	372
DELRIN®	163	419
hochdichtes Polyethylen	242	721
ZYTEL® 101 L	130	791

Dieses unterschiedliche Verhalten beeinflußt die Schnecken- und Zylinderauslegung, die für teilkristalline Materialien weitaus kritischer ist als bei amorphen Kunststoffen.

2.3 Viskosität der Schmelze

Die Viskosität der Schmelze bestimmt in hohem Maße die Werkzeugfüllung – hohe Viskosität bedeutet eine geringere Fließfähigkeit und höheren Druckabfall.

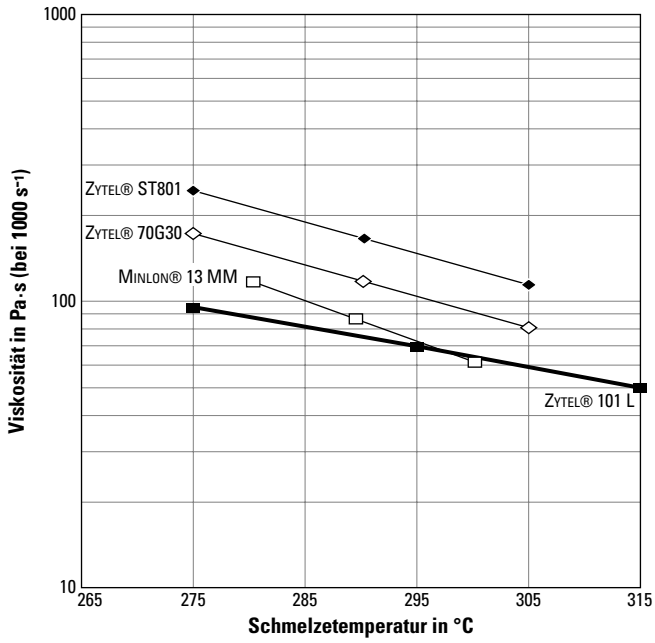
Die Viskosität der Schmelze ist zudem primär eine Funktion des Molekulargewichtes (ZYTEL® 42 hat beispielsweise ein höheres Molekulargewicht und daher eine höhere Schmelzeviskosität als ZYTEL® 101 L).

Die Viskosität der Schmelze von Polyamiden wird von einer Vielzahl von Faktoren beeinflußt, insbesondere von der Temperatur der Schmelze, der Schergeschwindigkeit und dem Feuchtegehalt des Kunststoffes.

2.3.1 Viskosität der Schmelze in Abhängigkeit der Temperatur

Die generelle Regel, daß die Viskosität von Flüssigkeiten mit steigender Temperatur abnimmt, trifft auf jeden Fall für Polymerschmelzen zu. Aus diesem Grund ist eine Temperatur vorzugeben, wenn ein Wert für die Schmelzeviskosität angegeben wird. Abb. 3 zeigt, daß die Viskosität von unverstärktem ZYTEL® auf Temperaturänderungen weniger empfindlich reagiert als schlagzähmodifizierte und verstärkte Typen.

Abb. 3 Viskosität der Schmelze in Abhängigkeit der Temperatur

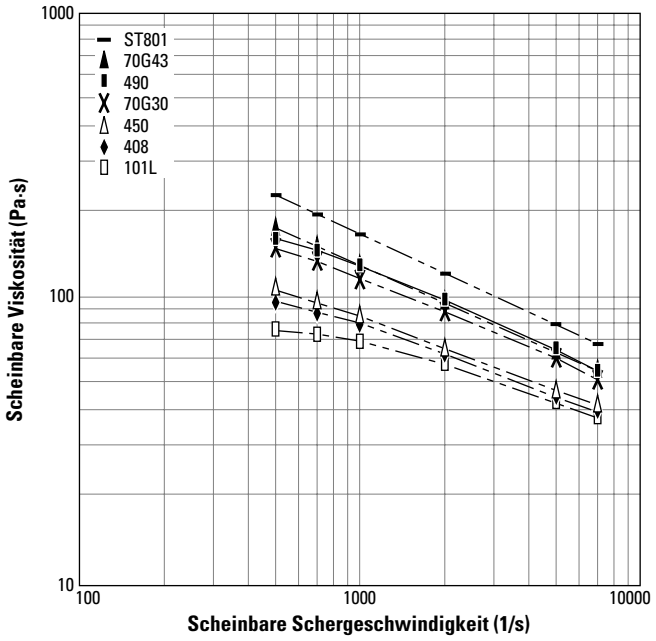


2.3.2 Viskosität der Schmelze in Abhängigkeit der Schergeschwindigkeit

Die Schergeschwindigkeit ist ein Parameter, der die Verformungsgeschwindigkeit des Materialstromes kennzeichnet. Er hängt von der Fließgeschwindigkeit und der Geometrie der Strömungskanäle ab. Die Viskosität verringert sich beträchtlich mit steigender Schergeschwindigkeit, siehe Abb. 4.

Daher kann die Viskosität durch Erhöhung der Einspritzgeschwindigkeit reduziert werden, wobei die Formfüllung komplexer Teile verbessert wird. Die Viskositäten unterscheiden sich von Polyamidtyp zu Polyamidtyp wie Abb. 3 und 4 zeigen.

Abb. 4 Viskosität der Schmelze in Abhängigkeit der Schergeschwindigkeit bei 290° C

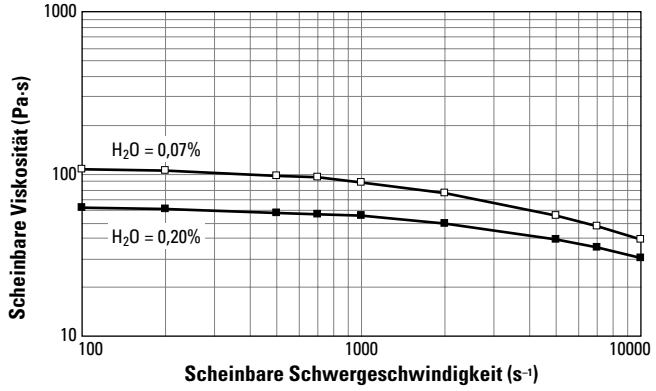


2.3.3 Viskosität der Schmelze in Abhängigkeit der Feuchtigkeit

Da die Viskosität der Schmelze, die in der Spritzeinheit aufbereitet wird sehr wichtig ist, können die im Zylinder durch Feuchtigkeit verursachten chemischen Reaktionen nicht unbeachtet bleiben. Der Feuchtegehalt der Kunststoffgranulate beeinträchtigt die Viskosität der Schmelze aufgrund von Hydrolyse, die während des Verarbeitungsprozesses stattfindet (siehe Abschnitt 2.5).

Generell gilt für alle Polyamide, daß die Viskosität der Schmelze mit steigendem Feuchtegehalt abnimmt (Abb. 5).

Abb. 5 Einfluß des Feuchtegehalts des Granulats auf die Viskosität von ZYTEL® 101 bei 295° C



2.3.4 Relative Viskosität (RV)

Die relative Viskosität ist eine (dimensionslose) Messung des durchschnittlichen Molekulargewichts des Kunststoffes. Je höher die relative Viskosität, umso höher das Molekulargewicht des Polymers.

2.3.5 Schmelzetemperatur und Schmelzpunkt

Die meisten MINLON® und ZYTEL® Polyamide sind kristalline Werkstoffe und haben daher statt eines Erweichungsbereiches wie amorphe Kunststoffe tatsächliche Schmelzpunkte. Optimale Schmelzetemperaturen können nicht nur von Typ zu Typ leicht variieren, sondern auch von Anwendung zu Anwendung. Dies ist ein weiterer Grund, warum die in Teil II aufgeführten Temperaturen nur empfohlene Kennwerte sind, die einen Schmelzetemperaturbereich für jeden Typ angeben.

In der Regel wird die Temperatur so hoch wie möglich eingestellt, um einen gute Fließfähigkeit der Schmelze zu erzielen. Sie liegt jedoch unterhalb des Punktes, an dem unter den gegebenen Verarbeitungsbedingungen ein Materialabbau beginnt (siehe Kapitel 2.5).

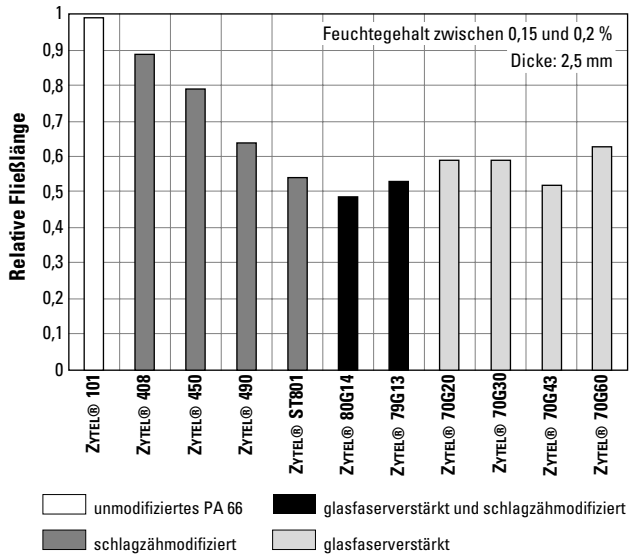
Niedrige Schmelzetemperaturen können unerwünschte Auswirkungen haben, beispielsweise eine heterogene Schmelze oder Rekristallisation in der Schmelze.

2.4 Fließweglänge

Die Fließfähigkeit der Schmelze ist ein entscheidender Kennwert bei der Verarbeitung. Um die Fließfähigkeit verschiedener Materialien zu vergleichen, wird normalerweise eine Standard-Meßtechnik, der sogenannte Spiraltest eingesezt. Hierbei wird für ein gegebenes Material die Fließlänge als Funktion vom Druck, der Querschnitt des Strömungskanals (kreisförmig oder rechteckig) und die Werkzeugtemperatur gemessen. Die Feuchtigkeit im Kunststoff muß berücksichtigt werden (siehe Abschnitt 2.2), um zu korrekten Ergebnissen zu gelangen.

Bei den Polyamiden von DuPont wird die Fließlänge umso kürzer, je stärker der Kunststoff modifiziert wurde. Abb. 6 zeigt das entsprechende Fließverhalten von ZYTEL® 66 Polyamiden. Die Kunststoffe wurden unter empfohlenen Prozeßparameten verarbeitet.

Abb. 6 Relative Fließeigenschaften von ZYTEL® Kunststoffen



2.5 Stabilität der Schmelze

Jeder Verarbeiter achtet auf die Stabilität des Kunststoffes während der Verarbeitung. Abbau reduziert das Molekulargewicht und somit die Eigenschaften des Endproduktes und kann durch folgende Faktoren hervorgerufen werden:

- Hydrolyse durch zu hohen Feuchtegehalt.
- Thermischer Abbau aufgrund einer zu langen Verweilzeit (oder Stagnationszonen) sowie zu hoher Zylindertemperaturen.

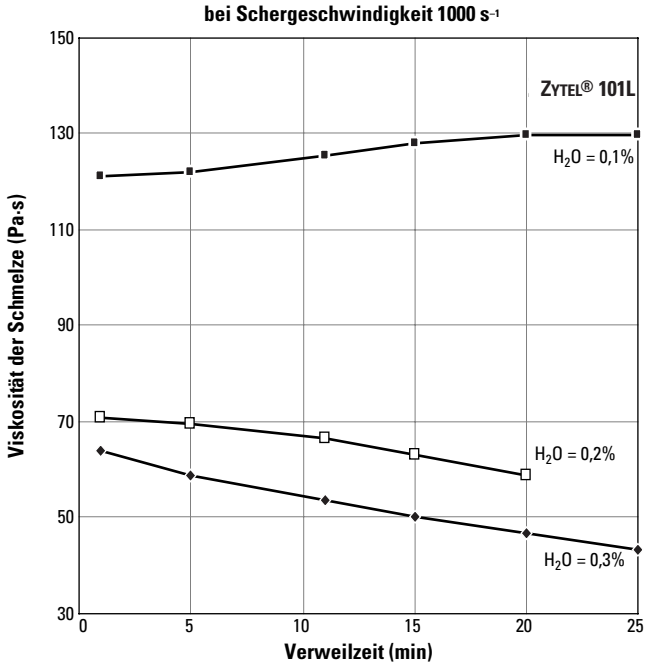
2.5.1 Hydrolytischer Abbau

Polyamide sind Polykondensationsprodukte und daher kann abhängig vom Druck, Feuchtegehalt, von der Temperatur und Einwirkungszeit entweder eine Kondensierung oder Hydrolyse stattfinden.

Während des Formgebungsprozesses ändert sich das Molekulargewicht und folglich die Schmelzviskosität (RV) je nach den oben erwähnten Parametern. Abb. 7 zeigt, daß sehr trockener Kunststoff während der Verarbeitung einer Polykondensation unterworfen ist und die Schmelzviskosität ansteigt, während hohe Feuchtegehalte zu Hydrolyse und einer reduzierten Schmelzviskosität führt. Bei ZYTEL® 101 L liegt das Feuchtegleichgewicht bei etwa 0,12% bei einer Schmelzetemperatur von 295° C.

Falls der Feuchtegehalt der Granulate maximal 0,20 Gewichtsprozent beträgt, sind die Reaktionsgeschwindigkeit des Hydrolyseprozesses und die Polykondensation so niedrig, daß die Eigenschaften der Formteile unter normalen Verarbeitungsbedingungen nahezu unbeeinträchtigt bleiben.

Abb. 7 Viskosität der Schmelze in Abhängigkeit der Zeit und Feuchtigkeit für ZYTEL® 101



Sobald der Feuchtegehalt 0,25% überschreitet, werden die Eigenschaften der Formteile verschlechtert, insbesondere die Zähigkeit, Dehnung und Oberflächengüte. Außerdem wird eine Gratbildung begünstigt.

2.5.2 Thermischer Abbau

Wie alle Kunststoffe, so können auch Polyamide von DuPont sich thermisch zersetzen. Der thermische Abbau ist abhängig von der Verweilzeit im Zylinder und der Schmelzetemperatur. Ist die Verweilzeit zu lang oder die Schmelzetemperatur zu hoch so tritt ein thermischer Molekulargewichtsabbau auf. Unter normalen Bedingungen ist die thermische Degradation so gering, daß sie nicht berücksichtigt werden muß.

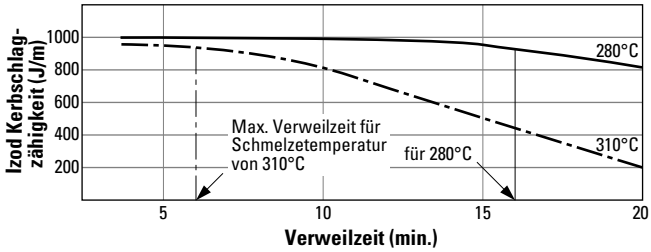
Falls jedoch mit einer sehr hohen Schmelzetemperatur von 310° C gearbeitet werden soll, würde sich das Molekulargewicht von ZYTEL® 101 nach einer Verweilzeit von 10 Minuten um 6% und nach einer Verweilzeit von 30 Minuten um 17% reduzieren.

Die Verweilzeit ist die durchschnittliche Zeit, die ein Granulat von der Trichtereinfüllöffnung bis zum Einspritzen in das Werkzeug benötigt. Polyamide können sich wie alle Kunststoffe bei zu langer Zylinderverweilzeit zersetzen. Der Abbau des Polymers beeinflußt das Molekulargewicht und verschlechtert die Eigenschaften wie oben beschrieben.

Der Abbau hängt sowohl von der Schmelzetemperatur als auch von der Verweilzeit des Kunststoffes in der Spritzgießmaschine ab. Je höher die Schmelzetemperatur, desto kürzer die Verweilzeit, die toleriert werden kann, um Materialabbau zu vermeiden (siehe Abb. 8).

Besondere Beachtung erfordern flammwidrige, wärmestabilisierte und andere Spezialtypen hinsichtlich der Verweildauer im Zylinder der Spritzgießmaschine.

Abb. 8 Einfluß der Verweilzeit auf die Schlagzähigkeit von schlagzähmodifizierten Polyamiden



2.6 Messung der Schmelzeviskosität in der Kavität

Ein neues Diagnosesystem, das während der Verarbeitung Drücke in der Kavität mißt, erlaubt eine schnelle Auswertung äußerst geringer Abweichungen der Schmelzeeigenschaften (Fließ- und Kristallisationsverhalten) und führt zu einem besseren Verständnis des Einflusses, den die verschiedenen Parameter auf die Verarbeitungsqualität haben.

Bei dieser Methode werden elektronische Signale während des Formgebungszyklusses analysiert. Der elektronische Regler übernimmt die Meßwerte von einem oder zwei Druckgebern in der Kavität.

Abb. 9 Forminnendruck, gemessen während der Formfüllung und Verdichtung (1 Sensor)

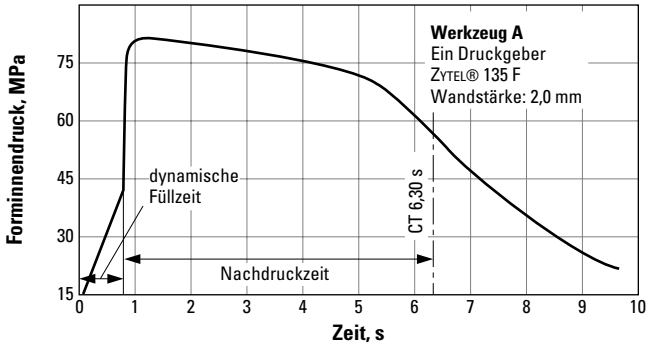
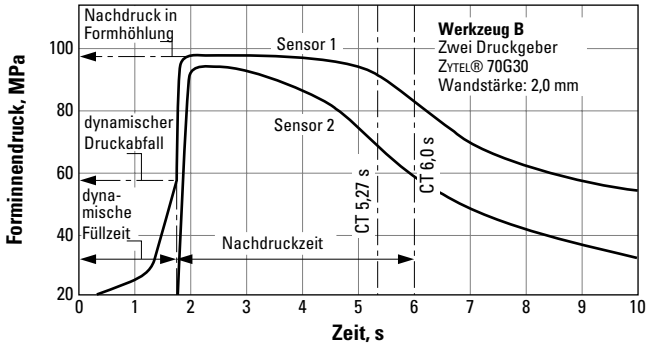


Abb. 10 Forminnendruck, gemessen während der Formfüllung und Verdichtung (2 Sensoren)



Ein Rechner mißt den Innendruck der Kavität während jedes Zyklusses, stellt ihn graphisch dar und analysiert ihn.

Ein einzelner Drucksensor in Anschnittnähe reicht normalerweise aus, um die Kristallisationszeit des Formteils zu ermitteln (Abb. 9). Falls Informationen über die Konsistenz der Schmelzeviskosität (CT) erforderlich sind, wird ein zweiter Sensor an dem Punkt angeordnet, der am weitesten von dem Anschnitt entfernt ist. Dies erlaubt eine Berechnung des Druckabfalls zwischen den beiden Sensoren während der Formfüll- und Verdichtungsphase (Abb. 10).

3. Materialhandhabung

3.1 Materialanlieferung

3.1.1 Lieferform der Kunststoffe

ZYTEL® Polyamide werden in Form von zylindrischem Granulat (3 × 2,5 mm Nennabmessung) geliefert. Die meisten Einstellungen sind eingefärbt verfügbar, entweder durch Zugabe von Farbkonzentrat oder voll kompoundiert.

Einige Materialeigenschaften, die für eine korrekte Dimensionierung der Ausrüstung wie Trichter, Drehschieber und die Einzugszonen von Zylindern erforderlich sind, werden in Tabelle 2 gezeigt.

Tabelle 2 Eigenschaften des Schüttgutes

Material		Schüttdichte (kg/m³)	Schüttwinkel (°)
Unmodifiziert	PA66	720-800	45
Schlagzähmodifiziert	PA66	640-720	< 60
Glasfaserverstärkt	PA66	800-870	< 60
Hochschlagzähmodifiziert	PA66	640-720	< 60

Die auf Polyamid 6,6/66 und 612 basierenden Gruppen weisen eine etwas niedrigere Schüttdichte auf (bis zu 5%).

Die Schüttdichte ist die Dichte der Materialpartikel, einschließlich der Hohlräume.

Der Schüttwinkel kennzeichnet die Fließfähigkeit des Granulats in Einfüllöffnungen und Trichter. Schüttwinkel zwischen etwa 0° und 45° zeigen eine gute Rieselfähigkeit des Materials. Bei Winkeln über 50° wird die Rieselfähigkeit beeinträchtigt.

3.1.2 Verpackung

ZYTEL® Polyamide sind in 4 Standard-Verpackungen lieferbar:

– 40 × 25 kg Gebinde (Säcke)

– 1000 kg Großbehälter (Oktabins)

– 1000 kg Großbehälter (Oktabins) mit Bodenentleerung

– Silo LKW

Ausführliche Informationen über diese Verpackungsarten sind in den Broschüren «Einführung in Verpackungsmaterialien für technische Kunststoffe» (H-51358) und «Silo-Lieferungen» (H-38473) enthalten.

3.2 Handhabung von Polyamiden

Werden Polyamide verarbeitet, so muß unbedingt sichergestellt werden, daß der Kunststoff in «trockenem» und «sauberem» Zustand der Spritzgießeinheit zudosiert wird.

3.2.1 Lagerung

- Polyamide sind in trockenen Bereichen bei einer Temperatur zu lagern, die in etwa dem Verarbeitungsbereich entspricht.
- Wird das Material an einem kalten Ort gelagert sollte, der Behälter vor dem Öffnen auf die Temperatur des Verarbeitungsbereiches gebracht werden.
- Die Lagerung sollte eine Disposition nach dem Fifo-Prinzip erlauben. Auch wenn die Säcke durch eine spezielle Beschichtung vor Feuchtigkeit geschützt sind, kann im Laufe der Zeit eine geringe Feuchte Aufnahme stattfinden.

3.2.2 Handhabung von Neumaterial

Werden die nachfolgenden Richtlinien eingehalten, lassen sich Probleme bei der Verarbeitung verhindern, die durch übermäßige Feuchtigkeit oder Verunreinigung entstehen:

- Um zu verhindern, daß Umgebungsfeuchtigkeit auf dem Kunststoff kondensiert, muß sichergestellt sein, daß der Kunststoffbehälter vor dem Öffnen über eine gewisse Zeit auf oder über der Temperatur des Arbeitsbereiches gehalten wird. Daher wird vorgeschlagen, Behälter für mindestens einen Tagesbedarf im Arbeitsbereich zu lagern.
- Dosieren Sie dem Trichter nur die Kunststoffmenge zu, die für einen einstündigen Betrieb erforderlich ist. Halten Sie den Trichter mit einem Verschlußdeckel verschlossen.
- Um eine Feuchteaufnahme der Granulate zu vermeiden, setzen Sie unbenutzten Kunststoff nicht der Atmosphäre aus. Geöffnete Säcke können mit Siegelzangen erneut versiegelt werden.

Alle Kunststoffe von DuPont werden trocken geliefert und lassen sich direkt aus den Versandcontainern verarbeiten.

3.2.3 Handhabung von Mahlgut

Solange die unten zusammengefaßten Verfahren genauestens beachtet werden, kann bereits verarbeiteter Kunststoff des gleichen Typs aufgemahlen und erneut verwendet werden. Je nach dem eingemischten Mahlgutanteil könnten sich die mechanischen Eigenschaften von glasfaserverstärktem ZYTEL® bedeutend verschlechtern (siehe Abb. 11 und 12). Es wird empfohlen, Abfälle nur direkt nach deren Erzeugung zu verwenden und den Anteil auf maximal 50% oder vorzugsweise 25% in einer Mischung mit Neumaterial einzusetzen. Die endgültigen Eigenschaften von Formteilen mit Mahlgutanteilen werden eher von der Qualität des Mahlgutes als von dem prozentualen Mahlgutanteil beeinflußt.

Abb. 11 Mechanische Eigenschaften in Abhängigkeit der Anzahl Verarbeitungsgängen (100% Mahlgut)

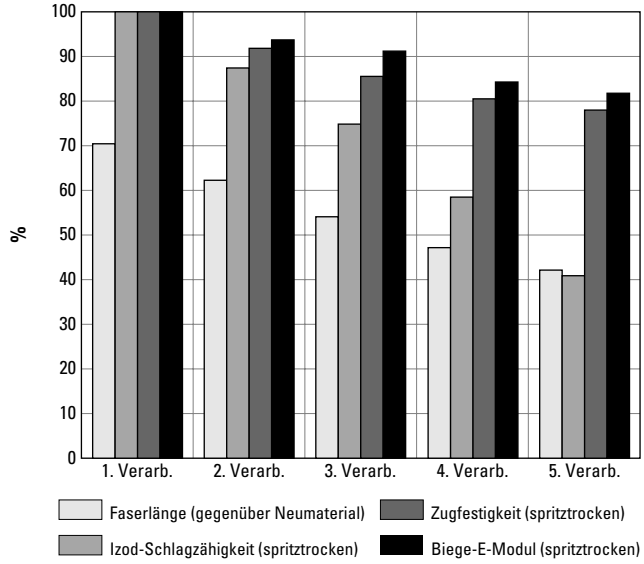
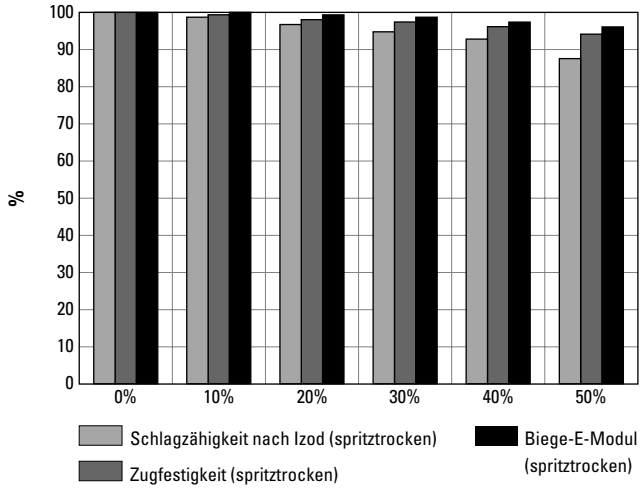


Abb. 12 Mechanische Eigenschaften in Abhängigkeit des eingemischten Mahlgutanteils



Um Mahlgut erfolgreich zu verarbeiten sind folgende Prinzipien zu berücksichtigen:

1. Mahlgut absorbiert mehr und schneller Feuchtigkeit als Neumaterial. Daher:

- schützen Sie Mahlgut vor Feuchtigkeit. Lagern Sie es in versiegelten, feuchtigkeitsundurchlässigen Behältern.
- Angüsse und Angußverteiler sollten regranuliert, eingemischt und verarbeitet werden, sobald sie die Maschine verlassen, um ein zusätzliches Trocknen zu vermeiden.

2. Mahlgut kann bedeutend stärker verunreinigt sein als Neumaterial. Daher:

- Verwenden Sie keine Formteile und Angußabfälle, die verfärbt oder verklumpt sind. Dies können Anzeichen dafür sein, daß der Kunststoff zersetzt wurde.
- Stellen Sie sicher, daß das Mahlgut frei von Verunreinigungen ist.
- Reduzieren Sie die Verwendung von Angußabfällen auf ein Minimum. Arbeiten Sie mit flusenfreien Handschuhen.
- Sorgen Sie für eine gleichmäßige Partikelgröße des regranulierten Materials. Feine Partikel absorbieren schnell Feuchtigkeit (aufgrund des großen Flächen-/Volumenverhältnisses) und haften an den Zylinderwänden. Feine Partikel verursachen zudem elektrostatische Aufladung die Schmutzpartikel anzieht und die Filter an Vakuumbeschickern verstopfen können. Sorgen Sie für sauber justierte und scharfe Schlagmesser der Schneidmühlen, um den Feingutanteil auf ein Minimum zu reduzieren. Feinkörner lassen sich durch Schüttelsiebe mit 12 oder 16mesh-Sieben vom Mahlgut trennen.
- Reinigen Sie Schneidmühlen und Mahlgutbehälter regelmäßig.

3. Einige Materialeigenschaften können je nach Anzahl der Durchgänge durch die Spritzgießmaschine schwanken. Um ein konstantes Niveau der Formteileigenschaften aufrechtzuerhalten, ist daher folgendes notwendig:

- Stellen Sie ein konstantes Verhältnis von Neumaterial und Mahlgut sicher. Neumaterial und Mahlgut sind vor der Dosierung zu mischen.
- Vermeiden Sie eine Anhäufung von Abfällen. Verarbeiten Sie diese sofort, sobald sie anfallen. Das geschlossene Regelkreissystem von Trennen, Zerkleinern und Vermischen eignet sich ideal.
- Abfälle aus glasfaserverstärktem Polyamid ist immer warm zu vermahlen, um Glasfaserbrüche so gering wie möglich zu halten.

Glasfaserverstärkte Polyamide reagieren auf die Wiederverwertung am empfindlichsten. Dies ist hauptsächlich auf den Faserbruch während des Regranulierens zurückzuführen. Um den Einfluß einer mehrfachen Wiederverwendung auf die mechanischen Eigenschaften des Formteils zu belegen, wird ZYTEL® mit 33% Glasfaserverstär- kung in Abb. 11 dargestellt. Diese Abbildung zeigt den Einfluß der Anzahl an Durchläufen durch die Spritzgießmaschine und den Abfall der mechanischen Eigenschaften. Der in Prozent ausgedrückte Verlust an mechanischen Eigenschaften von 100% Mahlgut basiert auf den Eigenschaften von Neumaterial.

Falls das Mahlgut in einem geschlossenen Kreislauf gehandhabt und entsprechend der obigen Richtlinien in Neumaterial eingemischt wird, ist der Einfluß des Mahlgutes auf die mechanischen Eigenschaften von Formteilen gering.

In Abb. 12 sind die mechanischen Eigenschaften von Formteilen aus ZYTEL® mit 30% Glasfaserverstärkung für mehrere Mahlgutanteile dargestellt.

3.2.4 Entsorgung von Materialabfällen

Werden die in diesem Handbuch angegebenen Richtlinien befolgt, läßt sich die Menge des Abfalls und der Fehlteile auf ein Minimum reduzieren. Dennoch wird während der Formteilherstellung eine bestimmte Menge an Abfällen erzeugt, die nicht wiederverwertbar sind. Dieser Abfall ist ordnungsgemäß zu entsorgen.

DuPont empfiehlt vorzugsweise eine Verbrennung mit Energierückgewinnung. Die Verbrennungsanlage muß mit einem modernen Skrubber ausgerüstet sein, um Rauchgase vor dem Entweichen zu beseitigen.

ZYTEL® und MINLON® sind nicht löslich in Wasser und enthalten nahezu keinerlei Additive, die durch Wasser entzogen werden können. Daher stellen ZYTEL® und MINLON® Kunststoffe bei der Entsorgung auf Deponien keine bekannten Gesundheits- oder Umweltrisiken dar.

Bei jeder Art von Entsorgung sind die lokalen Vorschriften einzuhalten, wobei diese von Ort zu Ort beträchtlich abweichen können.

Polyamid ist in der «grünen Liste» der Europäischen Richtlinie EEC 259/93, Anhang II, aufgeführt. Somit bestehen für ZYTEL® und MINLON® keine Beschränkung beim innereuropäischen Transport von Abfällen, die für die Aufbereitung bestimmt sind.

3.3 Einfluß der Feuchtigkeit

Der Feuchtegehalt von Polyamiden ist ein besonders wichtiger Kennwert und nimmt direkten Einfluß auf die Verarbeitung, die mechanischen Eigenschaften, die Viskosität der Schmelze und das Erscheinungsbild der Formteile.

Alle Polyamide sind hygroskopisch und absorbieren Feuchtigkeit aus der Atmosphäre, wie zuvor dargestellt wurde (Kapitel 3.2.2).

- Wasser reagiert chemisch mit Polyamiden bei Temperaturen über dem Schmelzpunkt. Diese Reaktion (Hydrolyse) führt zu einem niedrigeren Molekulargewicht und somit zu einem Eigenschaftsverlust der Formteile (Kapitel 2.5).

Das rheologische Verhalten der Schmelze wird dann verändert und kann durch leichte Gratbildung Verarbeitungsprobleme verursachen und eine Kontrolle der Formteilabmessungen erschweren.

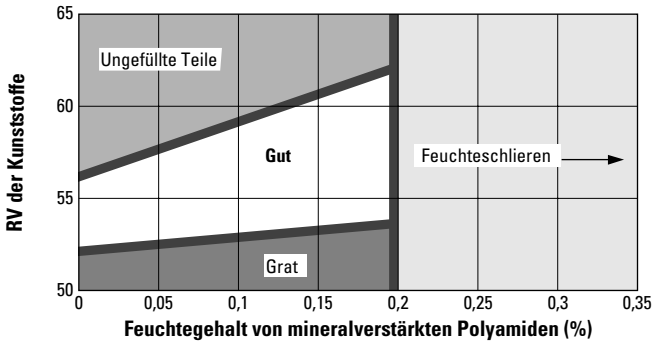
- Gleichzeitig kann absorbierte Feuchtigkeit Dampf bilden, der Klumpenbildungen und Lunker im Formteil verursacht.
- Der Einfluß der Feuchtigkeit auf Polyamidschmelze wird durch eine längere Verweilzeiten bzw. hohe Schmelzetemperaturen über 315° C verstärkt. Dies beruht auf einer Reduzierung des Molekulargewichtes, welches die relative Viskosität beeinflußt. In solchen Fällen ist es ratsam, den Feuchtegehalt entsprechend zu reduzieren.

  Abb. 13 zeigt beispielsweise den Einfluß des Feuchtegehaltes und der relativen Viskosität auf die Oberflächenbeschaffenheit von Formteilen aus mineralverstärkten Polyamiden.

In der Regel sollte der Feuchtegehalt von dosiertem Kunststoff 0,2% (Gewichtsprozent) nicht überschreiten, wie für jeden Typ vorgeschrieben.

Polyamide von DuPont werden trocken angeliefert und können direkt aus den Versandbehältern verarbeitet werden. Unter normalen Bedingungen läßt sich Neumaterial direkt aus den versiegelten Original-Behältern entnehmen.

Abb. 13 Einfluß der relativen Viskosität und des Feuchtegehalts auf die Oberflächengüte von Formteilen



3.4 Trocknen

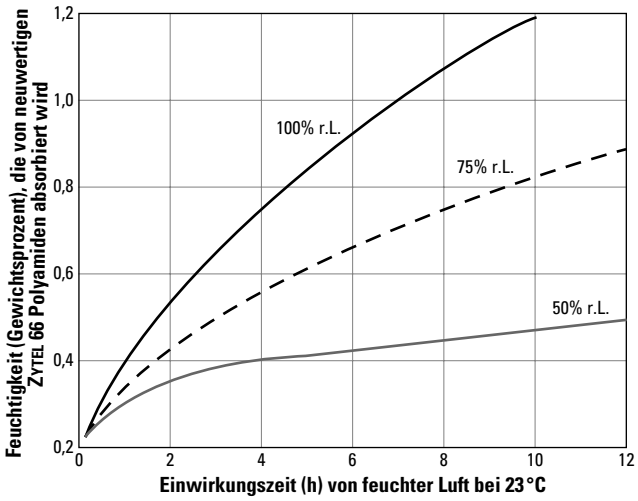
Der erforderliche endgültige Feuchtegehalt wird von den Verarbeitungsanforderungen bestimmt und sollte unter 0,2% betragen, in bestimmten Fällen auch unter 0,1%.

Alle Polyamide sind hygroskopisch und absorbieren Feuchtigkeit aus der Atmosphäre. Falls Neumaterial über einen beliebigen Zeitraum in einem offenen Behälter oder Mahlgut vor der Verarbeitung in feuchtigkeitsdurchlässigen Behältern gelagert wird, wird ein zusätzliches Trocknen erforderlich werden.

Die Rate, bei der Polyamide getrocknet werden können, hängt von folgenden Faktoren ab:

- **Relative Feuchtigkeit der Umgebung, in der getrocknet wird.**
  Die Trocknungsrate steigt mit abfallendem Feuchtegehalt der Trocknungsluft.
- **Trocknungstemperatur.** Ein Anstieg der Trocknungstemperatur steigert die Trocknungsrate. Lufttemperaturen über 93° C führen bei über drei Stunden zu einer unzulässigen Verfärbung des Polyamids. Zwischen Trocknungsrate und Temperatur muß ein Kompromiß gefunden werden. Die empfohlene max. Temperatur für das Trocknen von Polyamiden von DuPont beträgt 80° C.
- **Das Flächen-/Volumenverhältnis des Polyamids.**
  Die Partikelgröße wird von den Spezifikationen des Herstellers und der Größe der Mahlsiebe vorgegeben.

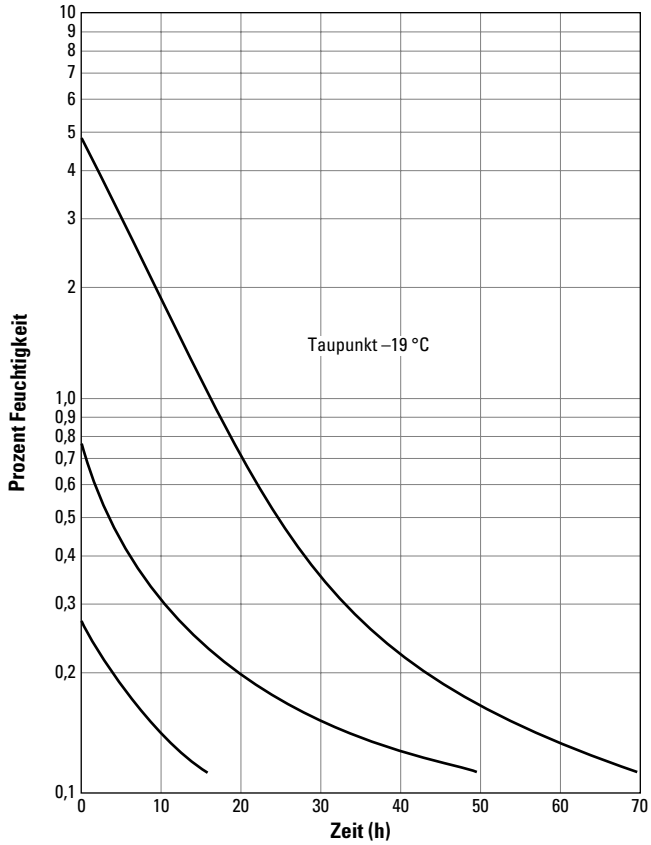
Abb. 14 Feuchteaufnahme von neuwertigem ZYTEL® Polyamid



Der Wassergehalt des Polyamids, das der Atmosphäre ausgesetzt war, läßt sich aus Abb. 14 schätzen, die den Feuchtegehalt von ZYTEL® 66 Polyamid bei verschiedenen relativen Feuchtigkeiten in Abhängigkeit der Einwirkungszeit zeigt.

DuPont empfiehlt für das Trocknen von Polyamiden einen Trockner mit Entfeuchtereinheit (Trockenlufttrichter/-ofen) oder eine sauerstoffreie Umgebung (Vakuumofen). Letzterer ist in einem automatischen Durchlaufverfahren schwierig einzusetzen. Kunststoff kann nur in Chargen getrocknet werden, die der Ofenkapazität entsprechen.

Abb. 15 Trocknungswerte für neuwertiges MINLON® und ZYTEL® Polyamid (Trockenlufttrockner bei 80° C)



Eine grobe Schätzung der erforderlichen Trocknungszeit kann aus Abb. 15 entnommen werden. Glasfaserverstärktes, mineralverstärktes oder schlagzähmodifiziertes Polyamid können längere Zeiten erfordern.

3.5 Einfärben

Eine Reihe von Standard-Farbkonzentraten sind für bestimmte Polyamide lieferbar. Es können verschiedene Färbesysteme verwendet werden: trockene Pigmente, flüssige Farben oder Farbstoffe. Doch solche Systeme können ebenso zu Abweichungen der Eigenschaften und/oder Funktionstüchtigkeit führen.

Bei der Bestellung von flüssigen Masterbatches oder trocknen Pigmenten, sind folgende Aspekte besonders zu berücksichtigen:

- Die verwendeten trockenen Pigmente oder Masterbatches müssen mit Polyamiden chemisch verträglich sein und oberhalb der Verarbeitungstemperatur des Kunststoffes eine gute thermische Stabilität aufweisen.
- Pigmente beeinflussen normalerweise die Kristallisationsgeschwindigkeit und folglich die Schwindung. Außerdem hat der Farbbeschleuniger von flüssigen Farben einen Einfluß auf die Verarbeitung.
- Der Farbbeschleuniger kann als Oberflächenschmiermittel betrachtet werden, der theoretisch Schneckenschlupf und damit Probleme bei der Formfüllung verursachen kann.
- Der wichtigste Punkt bei der Verarbeitung mit Färbetechniken liegt darin, eine homogene Dispersion und Vermischung der Pigmente in der Polymermatrix sicherzustellen.

Beim Einsatz einer Färbetechnik sollten die folgenden Punkte genauestens beachtet werden:

- Ein angemessenes Verhältnis zwischen Kunststoff und Masterbatch.
- Einsatz eines Mischkopfes oder Schnecken mit hoher Kompression.
- Ein Rücklaufhub der Schnecke unter 30% des maximalen Schneckenrücklaufs der Maschine.

Wichtige Anmerkung

DuPont kann die Funktionstüchtigkeit und Eigenschaften von Formteilen nicht garantieren, falls die von DuPont hergestellten Polyamide mit anderen Produkten vermischt werden, beispielsweise mit Flüssigpigmenten oder Farbmitteln.

3.6 Qualitätskontrolle

Die Qualität eines Formteils aus Polyamid spiegelt die Qualität des verwendeten Kunststoffes und der eingesetzten Verarbeitungsverfahren wider. Bei akzeptablen Maschinenparametern, Formteilauslegungen und hochwertigen Kunststoffen wird die Formteilqualität zufriedenstellend sein. Falls entweder der Kunststoff oder die Verarbeitungsverfahren Mängel aufweisen, kann die Formteilqualität unzufriedenstellend ausfallen.

Normalerweise lassen sich Qualitätsprobleme drei allgemeinen Bereichen zuordnen: Zähigkeit, Aussehen und Abmessungen.

In Abschnitt 8 werden die Abmessungen erläutert.

3.6.1 Kunststoff-Spezifikationen

Alle ZYTEL® Polyamide werden überwacht und sorgfältig auf konsistente Qualität geprüft. Diese Qualität bleibt erhalten, falls die Versandbehälter während des Transports oder der Lagerung unversehrt bleiben. Falls der Behälter oder die Versiegelungen undicht sind, absorbiert der Kunststoff Feuchtigkeit, die wiederum seine Qualität beeinträchtigt.

Alle Additive wie Farbstabilisatoren, UV-Stabilisatoren, Schmiermittel und Farbmittel werden kontrolliert, um eine zuverlässige Verarbeitbarkeit und Funktionstüchtigkeit der Endprodukte sicherzustellen.

Feuchtegehalt

ZYTEL® Polyamide werden in feuchtigkeitsundurchlässigen Verpackungen geliefert, so daß in der Regel kein Trocknen erforderlich ist. Polyamide sind jedoch hygroskopisch und absorbieren Feuchtigkeit, wenn sie der Umgebungsluft ausgesetzt sind.

Falls eine übermäßige Feuchtigkeitsaufnahme stattgefunden hat, muß der Kunststoff vor der Verarbeitung bei 80° C auf einen Feuchtegehalt von unter 0,2% heruntergetrocknet werden.

Übermäßige Feuchtigkeit beeinflußt nicht nur die Fließfähigkeit des Kunststoffes, sondern reduziert zudem die Zähigkeit und führt zu anderen bekannten Defekten (siehe Abschnitt 3.3).

Lösungsviskosität

Die Lösungsviskosität (relative Viskosität [RV] oder inhärente Viskosität [IV]) eines Kunststoffes ist ein Maß für das Molekulargewicht, das wiederum die Zähigkeit und Verarbeitbarkeit kontrolliert.

ZYTEL® Polyamide werden mit einem Molekulargewicht hergestellt, das eine gute Ausgewogenheit zwischen der Fließfähigkeit in der Maschine und der Zähigkeit des Formteils sicherstellt.

Da übermäßige Feuchtigkeit und Wärme das Molekulargewicht vermindern und somit die Zähigkeit, muß dies besonders beachtet werden. Die relative Viskosität von Kunststoffen, die sich in herkömmlichen Polyamidlösungsmitteln auflösen, kann gemessen werden. Bei Kunststoffen, die mit unlöslichen Additiven modifiziert wurden (Glasfasern, Mineralien, Schlagfestmachern usw.) muß das Molekulargewicht anders bestimmt werden, z.B. anhand der Schmelzeviskosität.

Zähigkeit

Da ZYTEL® Polyamide häufig aufgrund ihrer Zähigkeit gewählt werden, wird die Schlagzähigkeit nach Izod bei den direkt verarbeitbaren Kunststoffen exakt kontrolliert.

Übermäßige Feuchtigkeit während der Verarbeitung reduziert das Molekulargewicht und die Zähigkeit.

3.6.2 Spezifikationen für Formteile

Beim Spritzgießen können bestimmte visuelle Prüfungen und Laborresultate zugrunde gelegt werden, um die Formteilqualität zu bestimmen. Diese werden unten besprochen.

Oberflächengüte

Der Bediener der Spritzgießmaschine kann Grat, Verbrennungsmarkierungen usw. durch eine visuelle Prüfung der Formteile feststellen. In der Regel lassen sich diese Probleme durch Änderungen der Maschinenparameter oder Überprüfung des Werkzeugs korrigieren. Bei vielen Kunststoffen lassen sich Verunreinigungen, Lunker und Einfallstellen am besten mit herkömmlichen Lampen wie «Illuminant» C oder im Durchlicht feststellen. In einigen Fällen kann eine mikroskopische Untersuchung (10 bis 100fache Vergrößerung) für die Prüfung kleiner, aber wichtiger Details des Formteils, vorgenommen werden (Lunker, Kristallinität und Verunreinigung). Einige der häufigeren Probleme, die das Aussehen und die Zähigkeit der Formteile aus Polyamid beeinträchtigen, sind:

- *Farbe* – Bewertung sowohl des allgemeinen Farbtons und der gleichmäßigen Farbverteilung im ganzen Teil. Verfärbte Teile werden entfernt und nicht aufbereitet.
- *Oberflächenschlieren* – Obwohl in der Maschine normalerweise größere Mengen an Oberflächenschlieren sofort entdeckt werden, können geringe Mengen unentdeckt bleiben, bis sie einer genaueren visuellen Prüfung unterzogen werden.
  Die Beobachtung kleinerer Oberflächenschlieren kann zudem Aufschlüsse über Tendenzen in der Maschine geben, die zu größeren Oberflächenschlieren führen könnten. In der Regel werden Oberflächenschlieren durch übermässige Feuchtigkeit oder Wärme verursacht.

- *Grat* – visuelle Prüfung ist der einfachste Weg zur Feststellung von Grat.
- *Verbrennungsmarkierungen* – Diese Markierungen können an der Maschine festgestellt werden. Sie werden durch schlechte Entlüftung verarsacht.
- *Ungenügende Werkzeugfüllung* – Extrem ungenügende Werkzeugfüllungen lasen sich normalerweise leicht an der Maschine feststellen.
- *Bindenähte* – Sichtbare Bindenähte stellen einen ästhetischen Fehler dar. Zudem reduzieren diese die Festigkeit des Formteils.
- *Verunreinigung* – Verunreinigungen der Oberfläche lassen sich häufig an der Maschine feststellen. Interne Verunreinigungen innerhalb von dünnwandigen Querschnitten des Formteils werden häufig durch Prüfungen unter starkem Licht festgestellt. Bei geringen Verunreinigungen kann eine mikroskopische Prüfung vorgenommen werden.
- *Oberflächengüte* – Die Wiederholgenauigkeit der Formteiloberfläche und ungewollte Kratzer werden durch visuelle Prüfungen festgestellt.
- *Unaufgeschmolzene Partikel* – Diese werden häufig durch eine gründliche visuelle Prüfung des Formteils festgestellt. Sie erscheinen als einzelne Partikel mit abweichendem Farbton.
- *Lunker* – In dünnwandigen Sektionen lassen sich Lunker feststellen, indem das Formteil mit einem starken Lichtstrahl geprüft wird. Mikroskopische Untersuchungen von Mikrotomschnitten, die aus dem Teil geschnitten werden, können ebenso zur Feststellung von kleinen Lunkern herangezogen werden.

Zähigkeit

Die Zähigkeit von Formteilen aus ZYTEL® Polyamid kann anhand der relativen Viskosität, Schlagversuche, Zerstörungsprüfmethoden und Prüfungen des Endproduktes bestimmt werden. Bei vielen dieser Prüfungen muß der Feuchtegehalt spezifiziert werden, da die Zähigkeit des Formteils aus Polyamid durch Feuchtigkeit beeinflußt wird.

Relative Viskosität (RV)

Die potentielle Zähigkeit von Polyamid ist in etwa proportional zum Molekulargewicht insbesondere bei unventärkten Produkten. Die relative Viskosität ist ein Maß für das Molekulargewicht und kann gemäß ASTM Verfahren D789 bestimmt werden.

Da diese Prüfung von einer Probe abhängt, die sich in Ameisensäure auflöst, ist ihr Einsatz auf unmodifizierte Polyamide wie ZYTEL® E101 L und E103 HSL beschränkt.

Eine akzeptable relative Viskosität ist zwar notwendig, aber nicht ausreichend, um die Zähigkeit eines gegebenen Formteils sicherzustellen. Ein ungleichmäßiger molekularer Abbau im gesamten Formteil, Verunreinigungen und Spannungskonzentrationen reduzieren die Zähigkeit und lassen sich nicht unbedingt durch die Messung der relativen Viskosität ermitteln.

Schlagversuche

Es ist schwierig die Ergebnisse dieser Prüfungen quantitativ zu bestimmen. In den meisten Fällen ist eine große Anzahl einzelner Tests durchzuführen, bevor sich ein Trend feststellen läßt. Häufig wird ein Kriterium gewählt, bei dem 50% aller Proben bei einer gegebene Fallhöhe (oder einem Gewicht) nicht versagen und die anderen 50% versagen. Die entsprechende Fallhöhe oder das Gewicht sind ein Maß für die Zähigkeit.

Die Schlagzähigkeitsprüfung nach Izod, Fallbolzenprüfung oder Schlagzähigkeitsprüfungen mit Meßinstrumenten fallen in diese Kategorie. In einigen Fällen werden die aktuellen Prüfparameter vorgeschrieben (siehe ISO 180/1U und 1A für Izod-Schlagzähigkeit). Bei anderen Prüfungen werden die Bedingungen willkürlich gewählt. Wird ein Prüfprogramm aufgestellt, so müssen mehrere Faktoren festgelegt und kontrolliert werden.

- *Orientierung und Geometrie der Probe* – Der Fallbolzen muß immer die gleiche Stelle mit der gleichen Last beanspruchen.
- *Temperatur der Probe* – Sie muß konstant und geregelt sein. Dies ist besonders wichtig bei Prüftemperaturen außerhalb der Umgebungstemperatur. Jede ungewöhnliche Temperaturabweichung wird das Ergebnis beeinflussen. Schlagzähigkeitsprüfungen bei kalten Temperaturen sind besonders schwer zu kontrollieren.
- *Feuchtegehalt von Proben* – Der Feuchtegehalt eines jeden Formteils beeinflußt sein Verhalten in einer Schlagzähigkeitsprüfung. Der Feuchtegehalt muß für jede Probe konstant gehalten werden und sollte vorzugsweise gemessen werden.

Prüfungen des Endproduktes

Diese Prüfungen sollten die Einsatzbedingungen des Produktes simulieren. Es muß darauf geachtet werden, daß sinnvolle Bedingungen geschaffen werden. Diese Bedingungen sollten das konstruierte Spannungsniveau simulieren und nicht überschreiten, andernfalls könnten gute Formteile abgelehnt werden.

4. Die Spritzgießmaschine

Kunststoffe von DuPont werden auf vielen Typen von Spritzgießmaschinen erfolgreich verarbeitet. Da die meisten Polyamide auf Spritzgießmaschinen mit üblichen Schneckengeometrien verarbeitet werden, widmet sich dieses Kapitel ausschließlich diesem Typ.

4.1 Anforderungen an die Maschine

Heute gelten Schnecken-Spritzgießmaschinen als effektivste Ausrüstung für die Spritzgießverarbeitung.

Alle gängigen Schnecken-Spritzgießmaschinen können für die Verarbeitung von Polyamiden von DuPont eingesetzt werden, falls folgende Empfehlungen befolgt werden.

Spritzgießmaschinen werden in der Regel von drei grundlegenden Faktoren gekennzeichnet: Zuhaltekraft, Schußleistung und Plastifizier- oder Aufschmelzgeschwindigkeit.

- **Zuhaltekraft.** Entsprechend den Vorgaben für den Einspritzdruck in diesem Bereich empfehlen wir eine Zuhaltekraft von etwa 0,7 Tonnen pro cm^2 an projizierter Fläche für die Verarbeitung von Polyamiden von DuPont.
- **Füllvolumen.** Das Füllvolumen entspricht dem Volumen (Gewicht) der von der Schnecke eingespritzten Polymerschmelze während der Zykluszeit. Die Schmelzedichte von unverstärkten ZYTEL® Polyamiden entspricht in etwa der Dichte von Polystyrol (das für die Spezifizierung von Spritzgießmaschinen verwendete Standardmaterial) bei normalen Verarbeitungstemperaturen und -drücken.
  Daher wird das maximale Füllgewicht für unverstärkte ZYTEL® Polyamide in etwa den Leistungsangaben auf dem Typenschild oder dem vorgeschriebenen Füllgewicht von Polystyrol entsprechen.

Um kurze Zykluszeiten und eine gute Homogenität der Schmelze zu erreichen, sollte der Hub des Schneckenrücklaufs bei einem L/D-Verhältnis von 20:1 zwischen 1 und 2 D liegen. Obwohl es möglich ist, Teile außerhalb der vorgeschriebenen Grenzwerte zu fertigen, ist hier äußerste Vorsicht geboten, da eine zu lange Verweilzeit oder unzureichende Plastifizierung die Folge sein können.

Beim Kauf einer Maschine überläßt der Lieferant normalerweise dem Käufer die Entscheidung für eine der drei verschiedenen Zylinderleistungen. Diese Auswahl wird natürlich den Schneckendurchmesser und den maximal wirksamen Einspritzdruck auf den Kunststoff bestimmen.

- **Plastifizier- oder Aufschmelzgeschwindigkeit.** Die Plastifizier- und Aufschmelzgeschwindigkeit ist die Höchstgeschwindigkeit, bei der die Spritzgießmaschine das Polymer unter konstanten Verarbeitungsbedingungen aufschmilzt: Schneckendrehzahl, Gesamtzykluszeit und Zylindertemperaturprofil.

  Dieser Parameter kann sehr häufig irreführend sein, da die Plastifiziergeschwindigkeit in der Regel auf der Funktionsweise eines Extruders basiert.

In einer Spritzgießmaschine wird die Schmelze im Gegensatz zu einem Extruder schrittweise aufgeschmolzen und daher liegt seine effektive Plastifizier- oder Schmelzgeschwindigkeit beträchtlich unterhalb des definierten Wertes.

Folgende Faktoren bestimmen die tatsächliche Plastifiziergeschwindigkeit:

1. Gesamtzykluszeit
2. Schußgewicht
3. Zylinderkapazität
4. Schneckengeometrie
5. (Keine) Stagnationszonen
6. Schneckendrehzahl
7. Heizbandleistung
8. Kunststofftyp - Struktur (amorph, kristallin), Dichte, Schmelzpunkt, Erweichungspunkt usw.
9. Form des Granulats
10. Prozentualer Mahlgutanteil

Polyamid durchläuft beim Plastifiziervorgang eine Veränderung des physikalischen Zustands von fest nach schmelzeflüssig. Dabei ändert sich stark das spezifische Volumen in Abhängigkeit von Druck und Temperatur (PVT-Diagramm Abb. 1). Mit der richtigen Auswahl einer für Polyamid geeigneten Schnecke- und Zylindereinheit, können Temperatur- und Druckverlauf während des Plastifiziervorgangs kontrolliert werden.

Der Vorteil dieser sorgfältigen Maschinenauswahl könnte verloren gehen, wenn das Problem der Stagnationszonen nicht gründlichst erwogen wird.

Das Einspritzsystem sollte Polyamid bei Einpritzdrücken bis 140 MPa einspritzen können. Eine genaue und wiederholbare Kontrolle des Einspritzdruckes ist entscheidend, um die Maßtoleranzen des Endproduktes und andere Qualitätsmerkmale aufrechtzuerhalten.

4.2 Maschinenauslegung

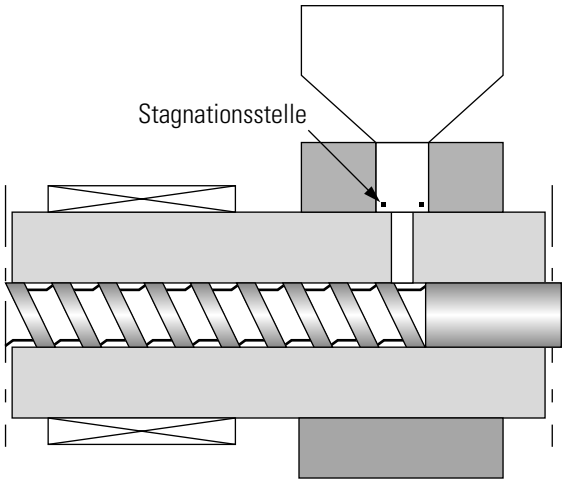
In diesem Abschnitt werden einige grundlegende Richtlinien zusammengefaßt, die für die Wahl einer korrekten Spritzgießmaschine entscheidend sind.
Es ist ratsam, die unter dem Abschnitt «Verschleiß» hervorgehobenen Empfehlungen zu befolgen, wenn eine langfristige Verarbeitung von Polyamiden mit Glasfasergehalt oder Mineralverstärkung beabsichtigt wird.

4.2.1 Trichter-Einfüllöffnung

Die Temperatur der Einfüllöffnung und das Kühlsystem des Trichters werden zu häufig vernachlässigt oder als unwesentlich bzw. schlicht als Mittel zur Vermeidung von «Feststoffbrücken» an der Schnecke betrachtet. Doch in der Tat ist dies der erste Bereich, in dem der Kunststoff mit der Spritzgießmaschine in Kontakt kommt und hier kommt das Qualitätsbewußtsein zum Tragen.

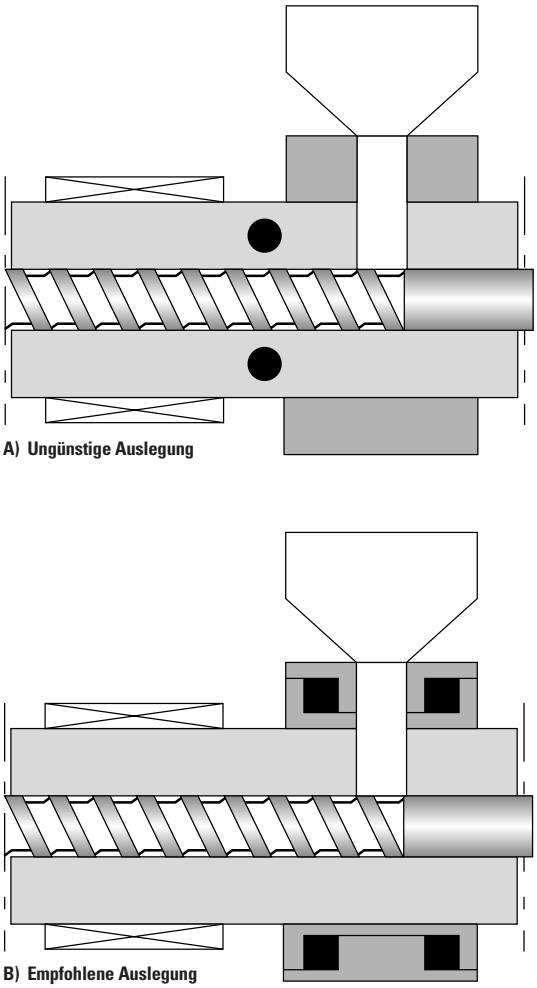
Die Einfüllöffnung sollte strömungsgünstig ausgelegt werden, um mögliche Stagnationszonen (siehe Abb. 16) zu vermeiden, an denen sich Kunststoff, Feinkörner, Pigmente, Schmiermittel oder andere Additive stauen können. Selbst bei niedrigen Trichtertemperaturen kann die Materialqualität durch Stagnationszonen in diesen Bereichen beeinträchtigt werden. Material oder Zuschlagstoffe können beispielsweise schubweise einfallen, so daß ungleichmäßige Schußvolumen oder Plastifizierzeiten verursacht werden. Dies beeinträchtigt die QUALITÄT DER SCHMELZE.

Abb. 16 Schlecht konstruierte Trichter-Einfüllöffnung



Die Kühlung der Trichteröffnung ist sehr häufig nachteilig in einem Bereich angeordnet, in dem die Kühlleistung gering ist (siehe Abb. 17). Die Folge ist, daß Temperaturen an der Einfüllöffnung sehr hohe Werte erreichen können (über 100° C). Aus diesem Grund erweichen Granulate eventuell bereits im unteren Bereich der Trichteröffnung, klumpen bei Erreichen der Schnecke zusammen und haften an den Schneckenwänden. Dies verursacht ungleichmäßiges Schußgewicht, Abweichungen von der Plastifizierzeit und beeinträchtigt direkt die QUALITÄT DER SCHMELZE. Aufgrund einer zu niedrigen Temperatur der Trichteröffnung kann zudem in der Atmosphäre enthaltenen Feuchtigkeit kondensieren, was zu Verarbeitungsproblemen wie Hydrolyse, Schäumen der Schmelze oder Oberflächenschlieren führt.

Abb. 17 Kühlung der Trichter-Einfüllöffnung



4.2.2 Zylinder

Mehrere Zonen-Heizregelungen des Zylinders (entsprechend der 3 funktionellen Zonen der Schnecke) ist für eine engtolerierte Temperaturkontrolle und hohe Ausstoßraten erforderlich. In allen Fällen sollte die Temperatur der Düse unabhängig und präzise von einem Thermofühler geregelt werden.

Ein L/D-Verhältnis von 20:1 wird für eine gleichmäßige Schmelzetemperatur bei hohen Ausstoßraten erforderlich.

- **Verschleiß.** Zylinder mit Bimetall-Auskleidungen haben eine hervorragende Abriebfestigkeit gegen Glasfasern unter Beweis gestellt.

Nitrierte Zylinder widerstehen dagegen dem Abrieb durch glasfaserverstärkte Polyamide nicht und führen häufig zu Ausbrüchen (Oberflächenfehler) und übermäßigem diametralen Verschleiß nach kurzfristigem Einsatz.

4.2.3 Schneckengeometrie

Die Schmelzequalität wird nur durch eine gute, homogene Plastifizierung der Schmelze erreicht.
Die Geschwindigkeit, in der eine Schnecke eine hochwertige Schmelze liefert, hängt von ihrer Geometrie, dem thermischen und rheologischen Verhalten des Polymers und den Verarbeitungsparametern ab.

In einer Spritzgießeinheit liefert die Wärmeeinleitung durch den Zylinder sowie die von der Schnecke erzeugte Scherwärme die Energie, die für ein Erreichen der Verarbeitungstemperatur erforderlich ist.

Die Wärmeeinleitung wird von der Wärmeleitfähigkeit des Kunststoffes limitiert. Die Scherwärme ist größtenteils abhängig von der Viskosität des Kunststoffes und der Schergeschwindigkeit (Staudruck und Schneckendrehzahl). Amorphe Kunststoffe, deren Viskosität mit der Temperatur geeingfügig reduziert und die in der Regel bei der Verarbeitungstemperatur eine höhere Viskosität aufweisen, erfordern geringere Scherkräfte und tiefer geschnittene Schneckengänge (Abb. 19 – oben).

Kristalline Polymere weisen am Schmelzpunkt einen starken Viskositätsabfall auf. Um die erforderliche Scherwärme zu erzeugen, sind höhere Reibungskräfte erforderlich und somit flachere und längere Meteringzonen (Abb. 19 – unten).

Um eine optimale Schmelzequalität bei hohen Ausstoßraten zu erreichen, sollte die Schnecke entsprechend ausgelegt werden. Dennoch eignen sich Mehrzweckschnecken, mit denen die meisten Spritzgießmaschinen ausgerüstet sind, in der Regel für die Verarbeitung von Polyamiden von DuPont bei niedrigen Ausstoßraten*. Bei hohen Ausstoßraten bietet eine speziell für die Verarbeitung von ZYTEL® Polyamiden konstruierte Schnecke jedoch eine gleichmäßigere Temperaturverteilung und verhindert unaufgeschmolzene Partikel. Die für hohe Ausstoßraten empfohlene Schneckengeometrie wird in Abb. 18 dargestellt.

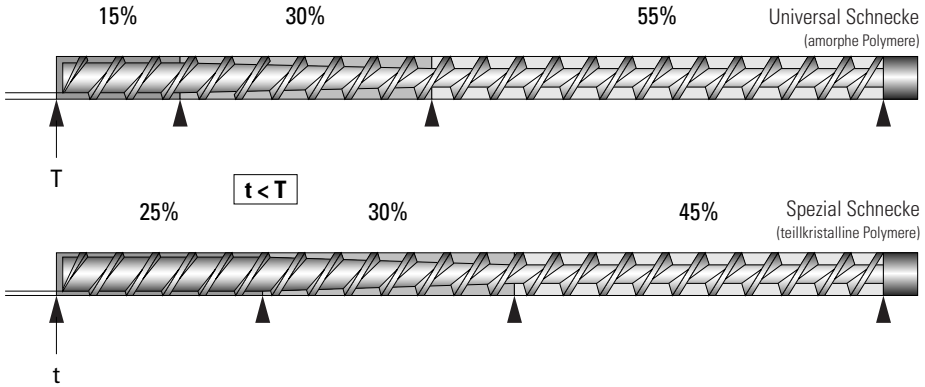
*N.B. «Niedrige Ausstoßrate» bedeutet maximal 2–3 D für den Schneckenrücklauf.

Abb. 18 Empfohlene Schneckengeometrie für unverstärktes ZYTEL®

Richtlinien für Spritzgießeinheiten für 20 L/D Schnecken				
Schneckendurchmesser	mm	30	50	70
Kompressionsverhältnis		2,8 – 3	3 – 3,2	3 – 3,2
Tiefe der Meteringzone	mm	1,95	2,10	
Schneckendrehzahl	U/min	250	150	110
Tangentiale Schneckendrehzahl	m/s		0,4	
Staudruck (hydraulisch)	MPa		0,5 – 1	
Optimaler Hub als Funktion vom Schneckendruchmesser			1 bis 2 Schneckendurchmesser	
Verweilzeit (ca.-Schätzung)	min	$\frac{\text{maximum Kapazität}}{\text{Hub}} * 2 * \frac{\text{Zykluszeit (s)}}{60}$		
Schnecken-Rücklaufzeit	g/s		20 – 25	
Zykluszeit	s	HPT + SRT: Öffnung – Ausformen + Schließen		

HPT: Nachdruckzeit SRT: Schnecken-Rücklaufzeit

Abb. 19 Vergleich der Schneckengeometrie



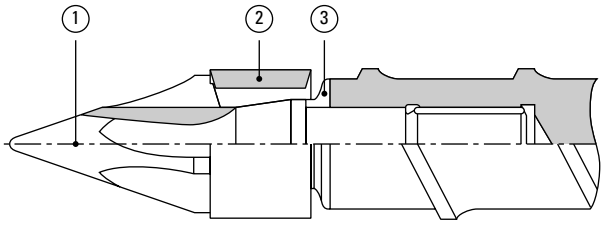
Verschleiß. Verschleiß durch Abrieb an Spritzgießschnecken findet primär an den Anschnittlängen und Kanten der Schneckengänge statt. Mit der Zeit wird der Kerndurchmesser in den Übergangs- und Meteringzonen leicht verschleißen. (Der Verschleiß in der Einzugszone ist normalerweise die Folge von zu niedrigen Temperaturen der Einzugs für den betreffenden Ausstoß.)

Schneckenstege können beispielsweise mit einer «Stellite» Hartlegierung beschichtet werden, die eine bessere Verschleißfestigkeit bietet als flammgehärtete oder gewöhnliche nitrierte Schnecken. Daher werden Stege mit «Stellite» Beschichtung für Schnecken empfohlen, die für eine kontinuierliche Verarbeitung von glasfaserverstärkten Kunststoffen eingesetzt werden. (Es ist sogar möglich, die gesamte Schneckenfläche mit einer abriebfesten Beschichtungen zu versehen, um einen maximalen Verschleißschutz zu erhalten.)

4.2.4 Rückstromsperren

Für die Verarbeitung von Polyamiden von DuPont sind Rückstromsperren erforderlich, um einen konstanten Druck in der Formhöhlung und ein gleichmäßiges Schußgewicht sicherzustellen. Die engtolerierte und strömungsgünstige Auslegung der Rückstromsperre (Abb. 20) erfordert größte Sorgfalt, um Fließbehinderungen und mögliche Stagnationszonen zu vermeiden. Geeignete verschleißfeste Stähle müssen vorgesehen werden.

Abb. 20 Rückstromsperren



Verschleiß. Die Rückstromsperre ist die am stärksten durch Verschleiß beanspruchte Baugruppe in der Spritzeinheit. Rückstromsperren sind hohem Verschleiß unterworfen, wenn sie mit glasfaserverstärkten Kunststoffen eingesetzt werden. Dies gilt vor allem, wenn sie nicht korrekt gehärtet sind. Doch selbst mit einer Hartlegierung verschleißen diese Sperren und müssen gründlich geprüft werden. Zuvor sind abgenutzte Sitze und Ringe zu ersetzen, da ein Schmelzepolster während des Einspritzens der Schmelze aufrechterhalten werden muß. Gute Resultate wurden mit zähen Stählen mit hohem Chromanteil erzielt, die nach Rc 60-62 gehärtet wurden.

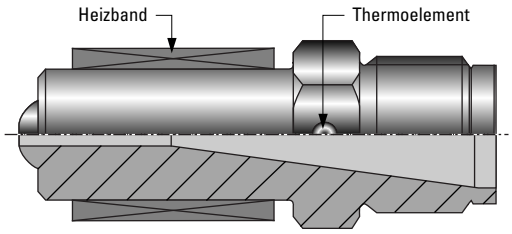
4.2.5 Düse

Beheizte, offene Düsen (siehe Abb. 21) werden für den Einsatz aller Kunststoffe von DuPont empfohlen.

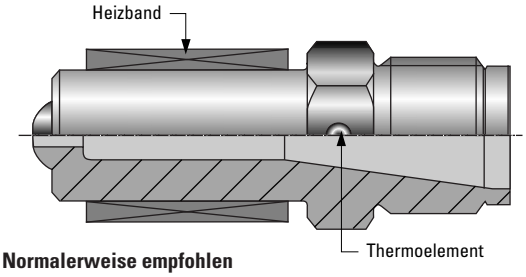
Aufgrund der höheren Schmelzeviskosität von glasfaserverstärkten Polyamiden sollte der Durchmesser der Düsenbohrung um etwa 25% größer sein als bei unverstärkten Polyamiden.

Temperaturregelung und Positionierung der Heizelemente sind sehr wichtig, um einen unzulässigen Materialabbau oder kalte Pfropfen zu vermeiden.

Abb. 21 Empfohlene offene Düsen



Wenn keine Dekompression möglich ist

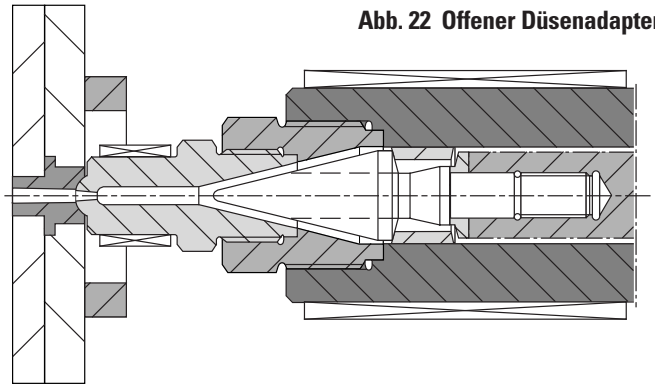


Normalerweise empfohlen

4.2.6 Verschlußdüsen

Der Einsatz einer Verschlußdüse führt unvermeidlich zu einem Aufbau von Verunreinigungen. Da der Kolben gegen die Düsenwand reibt, schafft er Bereiche für Stagnationszonen. Falls ein Abbau an diesen Stagnationszonen stattfindet, kann der Druck nur durch den hinteren Bereich der Schnecke entlastet werden, was zu Rückströmungen führt.

Abb. 22 Offener Düsenadapter



4.2.7 Beseitigung von Stagnationszonen

Die Konstruktion einer Spritzgießmaschine sollte auf einer strömungsgünstigen Auslegung basieren. Sie umfaßt den Heizzylinder und die Sektionen, durch die die Schmelze fließt (Rückstromsperre, Schneckenkopf, Adapter und Düse). Von besonderer Bedeutung ist die Beseitigung aller möglichen Stagnationszonen:

1. Die Kontaktflächen zwischen Adapter und Zylinder und zwischen Adapter und Düse.
2. Rückstromsperre am Schneckenkopf. Hier treffen die Kontaktflächen aufeinander, an dem Spalte und Stagnationszonen durch zylindrische Bearbeitung beseitigt werden sollten. Erfahrungsgemäß treten bei jeglichen Defekten Verunreinigungen und schwarze Punkte auf.
3. Verschlußdüsen führen besonders bei glasfaserverstärkten Kunststoffen zu einem Aufbau von Verunreinigungen und haben Unfallrisiken.

Optimale Konstruktionen zeigt Abb. 22 (empfohlene offene Düse, Adapter, Rückstromsperre). Hier werden die Kontakflächen an zylindrischen Dichtungen angeordnet und offene Düse verwendet.

4.3 Instandhaltung und Sicherheitsvorkehrungen

Wird die korrekte Ausrüstung sachgemäß eingesetzt, entfallen bei Polyamiden jegliche Spezialprüfungen an der Spritzgießmaschine durch den Bediener.

Allerdings sollte der Verschleiß der Ringbaugruppe gründlich überwacht werden, wenn glasfaserverstärkte Kunststoffe verarbeitet werden.

Der Einspritzzylinder sollte mit einem Schutz versehen werden, um Verbrennungen des Personals zu verhindern.

5. Werkzeugkonstruktion

5.1 Konstruktionswerkstoffe

In der Regel ist der Verschleiß in Formhöhlung, Anguß und Verteilern nicht so kritisch wie bei den Anschnitten. Da die Schmelze durch die Verteiler und die Formhöhlungen fließt, bildet sich eine dünne Haut aus eingefrorener Schmelze, die den Verschleiß reduziert. In Abschnitten, in denen hohe Fließ- und Schergeschwindigkeiten auftreten, wird lokaler Verschleiß verursacht, da die eingefrorene Schutzhaut aufbrechen kann (insbesondere bei verstärkten Kunststoffen).

Eine vorzeitige Gratbildung führt zu einem hohen Verschleiß der Formhöhlung. Ausreichend stark dimensionierte Werkzeugplatten, sowie eine ausreichende Zuhaltekraft an der Maschine, verhindern Werkzeugatmung und Gratbildung. Eine gute Entlüftung der Formhöhlung vermeidet Korrosion durch eingeschlossene Gase an Zusammenflußlinien (Diesel-Effekt).

Der Anschnittbereich ist Verschleiß unterworfen, insbesondere wenn dünne Anschnitte vorgesehen werden, d.h. Punkt- oder Tunnelanschnitte. Er ist regelmäßig auf Abrasiven Verschleiß zu prüfen, da diese nachteilige Vorsprünge und fehlerhaftes Abreißen von Anschnitten verursachen kann.

5.2. Angußverteilersysteme

Im folgenden die wichtigsten Richtlinien, die bei der Auslegung eines Angußsystems zu befolgen sind:

- Auslegung für eine gleichmäßige Druckübertragung zu allen Formhöhlungen.
- Ausreichende Dimensionierung für gute Fließfähigkeit, minimalen Druckabfall, minimale Scherung (besonders bei Anschnitten für verstärkte Polyamide) und einen gleichbleibenden Druck während des gesamten Kristallisationsprozesses (Abb. 23).
- Mindestgröße und -länge für die kürzeste Zykluszeit.

5.2.1 Angußstange

Angußstangen sollten so kurz wie möglich bemessen und gut poliert sein, wobei ihre Ausläufe glatt abgerundet in den Angußkanal übergehen. Der Einlauf in die Angußbuchse sollte einen um 1 bis 3 mm größeren Durchmesser aufweisen als der Auslauf aus der Maschinendüse. Die Angußbuchse sollte mit einem Öffnungswinkel von 3 bis 7° verjüngt sein.

Angüsse sollten groß genug sein, um eine vorzeitiges Einfrieren der Schmelze oder ein schlechtes Fließverhalten zu verhindern. Wichtig ist eine sorgfältige Auslegung der Angußzieher, um ein Feststecken des Angusses zu vermeiden.

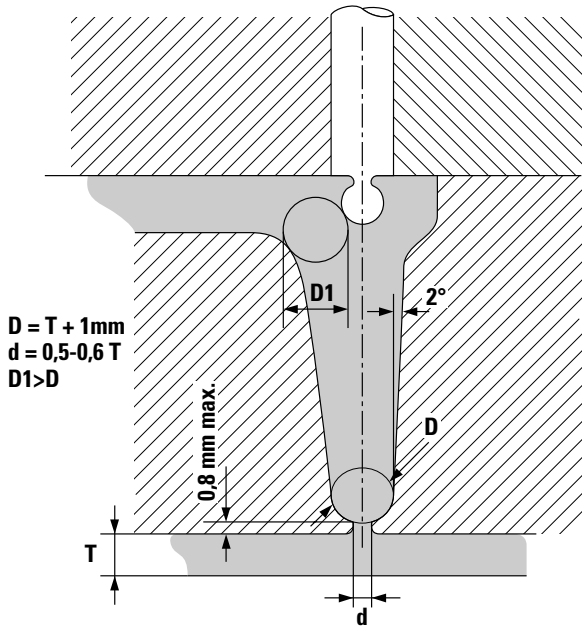
Aus diesem Grund muß die Angußbuchse sorgfältig ohne scharfe Hinterschneidungen ausgelegt werden. Der Zieher muß lang und dünn genug sein, damit er bei Beendigung des Zyklusses eingefroren ist.

5.2.2 Angußverteiler

Symmetrische und asymmetrische Angußverteiler

In symmetrischen Angußsystemen sind die Fließlängen vom Anguß zu den verschiedenen Formhöhlungen gleich. Daher ist der Schmelzestrom in symmetrischen Angußsystemen vom Anguß zu jeder Formhöhlung am gleichmäßigsten. Bei einer korrekten Dimensionierung von natürlich balancierten Verteilern und Anschnitten lassen sich engtolerierte Formteile herstellen. Verteiler und Anbindungen sollten für einen reibungslosen und gleichmäßigen Schmelzefluß großzügig dimensioniert sein und keine Fließbremsen aufweisen (Abb. 23).

Abb. 23 Punktanschnitt



Falls möglich werden kreisförmige Verteiler empfohlen. Ein kreisrunder Verteiler weist die geringste Oberfläche pro Volumeneinheit auf, wodurch sich der niedrigste Druck und Wärmeverlust ergibt. Der Mindestquerschnitt eines Verteilers beträgt normalerweise etwa 3 mm oder etwa das 1,5fache der Wandstärke des Bauteils. Größere Querschnitte sollten für dickwandigere Teile und kleinere Querschnitte für dünnwandige Teile verwendet werden. Die exakte Verteilergröße läßt sich am besten festlegen, indem der erwartete Druckabfall berechnet und das Angußsystem entsprechend dimensioniert wird.

Bei trapezförmigen Verteilern sollte der Neigungswinkel der Seiten 5° pro Seite betragen, während die Tiefe vom Durchmesser eines beschriebenen Kreisdurchmessers abgeleitet wird.

Abb. 24a Tunnelanschnitt für verstärkte Polyamide

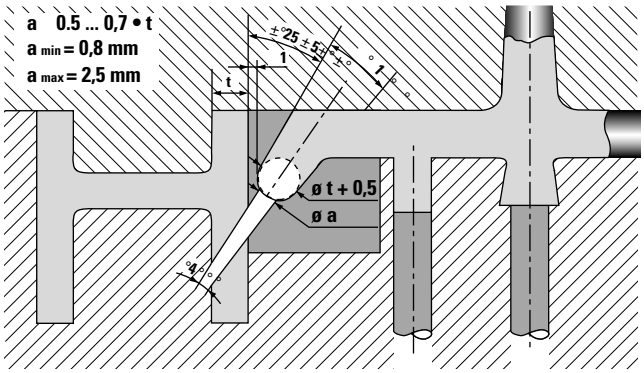
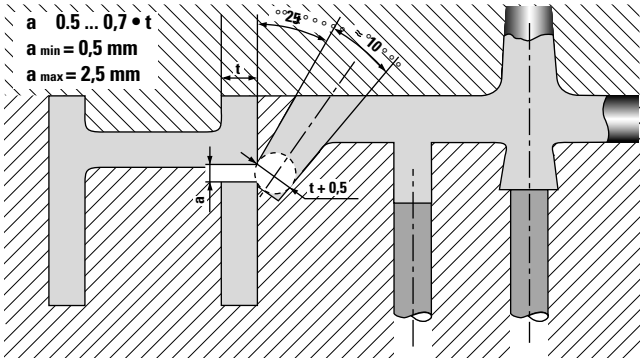
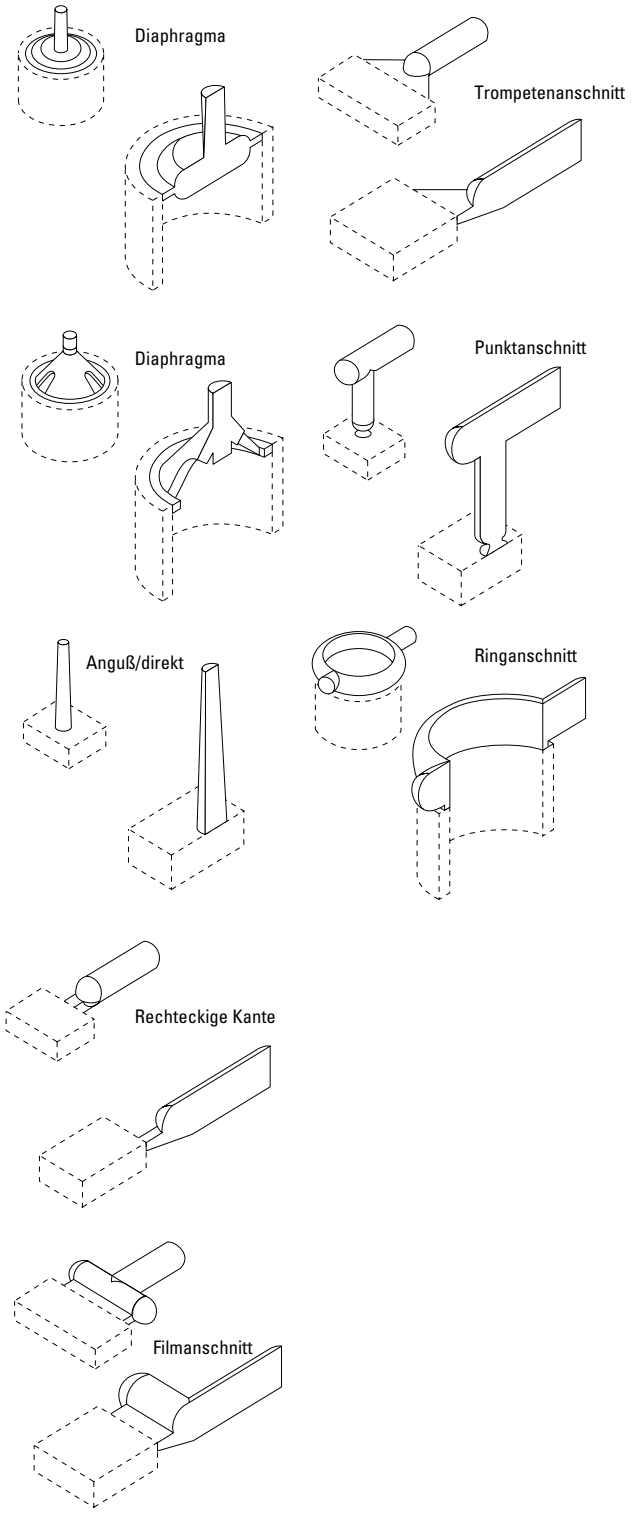


Abb. 24b Tunnelanschnitt für unverstärkte Polyamide



Ab. 25 Verschiedene Anschnittarten



5.2.3 Anschnitte

Kunststoffe von DuPont wurden erfolgreich mit allen Anschnittarten verarbeitet. Die Positionierung, Dimensionierung und Anzahl der Anschnitte sind wichtige Erwägungen.

Festlegung der Anschnittdimensionierung

In der Regel sollte die Anschnittdicke 45 bis 75% der Teiledicke betragen. Bei rechteckigen Anschnitten empfiehlt sich eine Anschnittdicke von 65% der Teiledicke. Die Anschnittbreite sollte das Ein- bis Zweifache der Anschnittdicke und die Anschnittlänge max. 1 mm betragen.

Für Tunnelanschnitte wird ein Mindestdurchmesser von 0,7 mm empfohlen, wobei allerdings 2,5 mm niemals überschritten werden sollten. Die Auslegung eines langen Tunnelanschnitts ist problematisch und die typische Auslegung für amorphe Kunststoffe muß vermieden werden.

Bei glasfaserverstärkten Polyamiden können Tunnel- und Punktanschnitte verwendet werden, falls der Anschnittquerschnitt größer ist als 0,7 mm.

Zu kleine Anschnitte werden in der Regel Schwindung und Verzug erhöhen und das Risiko von Faserbruch steigern (Abb. 11: *Bewahrung der mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit der Faserlänge*). Aufgrund ihrer zu hohen Bruchfestigkeit während der Ausformphase sind Durchmesser von Punktanschnitten über 2,0 mm zu vermeiden.

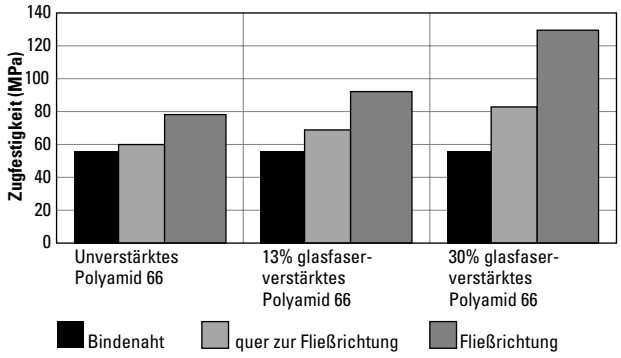
Anschnittpositionierung. Falls die Wandstärken des Teils stark variieren, ist es am besten, den Anspritzpunkt am dicksten Querschnitt anzuordnen, um den Füllvorgang zu vereinfachen und Einfallsstellen und Lunker auf ein Minimum zu reduzieren.

Um Oberflächenfehler und Freistrahlbildung zu vermeiden, sollte der Schmelzestrom vom Anschnitt aus die Wand der Formhöhlung oder einen Kernstift anströmen. Anschnitte sind jedoch nicht so zu positionieren, daß der Schmelzestrom gegen einen Kern gelenkt wird, der nicht in beiden Werkzeughälften gelagert ist.

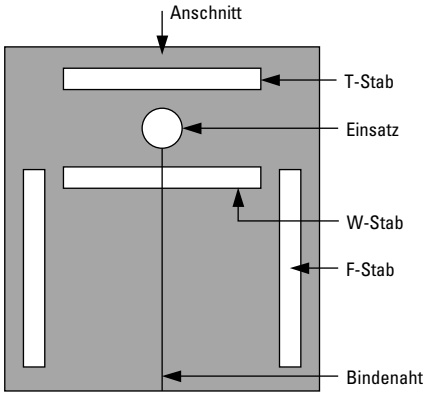
Die Anordnung des Anschnittes wird die Position der Bindenähte festlegen und somit auch der Entlüftungsöffnungen (siehe Kapitel 5.3 *Entlüftung*).

Bei glasfaserverstärkten Polyamiden ist die Anschnittpositionierung extrem wichtig, um einen Teileverzug nach dem Auswerfen auf ein Minimum zu reduzieren und die Eigenschaften des Endproduktes zu kontrollieren, da die Fasern dazu neigen, sich in Fließrichtung zu orientieren (siehe Abb. 26).

Abb. 26 Einfluß der Anschnittanordnung und Orientierung in Fließrichtung auf die mechanischen Eigenschaften



Beziehung zwischen Polymerorientierung, Bindenaht und Zugfestigkeit



Prüfstäbe aus Platten geschnitten

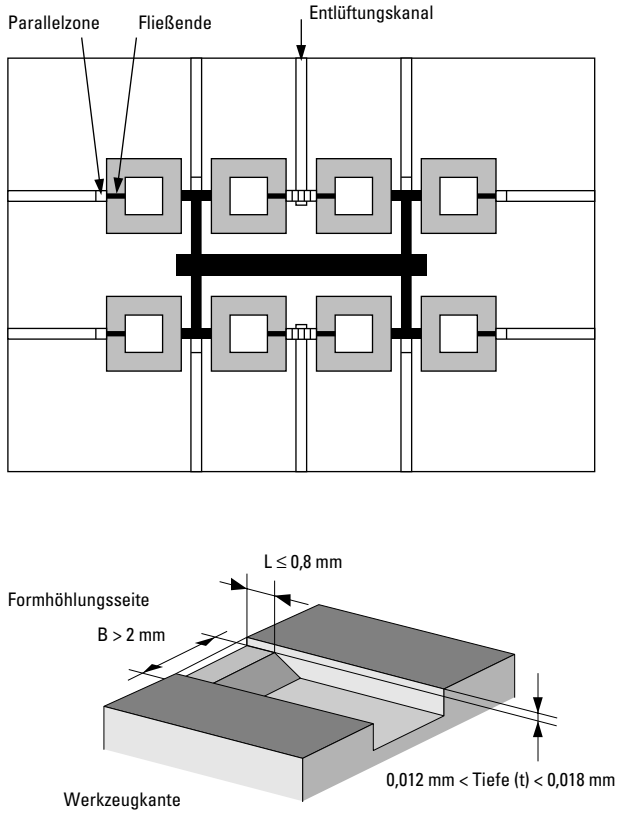
5.3 Entlüftung

Eine unzureichende Werkzeugentlüftung kann folgende Probleme verursachen:

- Schlechte Bindenahtfestigkeit
- Verfärbung (Dieseleffekt) des Polyamids
- Erosion oder Korrosion des Werkzeugs
- Maßabweichung des Formteils
- Ungenügende Füllung

Sowohl Formhöhlungen als auch Angußverteiler sollten an der Trennebene entlüftet werden, siehe Empfehlung in Abb. 27.

Abb. 27 Entlüftungsgeometrie für Polyamide



Der Entlüftungsbereich muß groß genug sein (B × t), um einen Aufbau des Gasdruckes in der Formhöhlung zu verhindern. Die Parallelzone sollte 1 mm nicht überschreiten. Die Tiefe des Entweichungskanals ausgehend von der Entlüftungsöffnung sollte im Verhältnis zu seinem Abstand von der Formhöhlungskante ansteigen. Dies trägt dazu bei, den «Venturi-Effekt» zu reduzieren und somit Formablagerungen.

5.4 Hinterschneidungen und Entformungsschrägen

Die folgenden allgemeinen Empfehlungen gelten für das Ausformen von Hinterschneidungen bei Polyamiden:

- Die Hinterschneidung sollte abgerundet und gut abgeschrägt sein, um ein leichtes Gleiten des Formteils über Metall zu ermöglichen.
- Falls eine Verformung der Hinterschneidung auftritt, sollten die Maschinenparameter so eingestellt werden, daß der Effekt auf ein Minimum reduziert wird. Häufig können höhere Werkzeugtemperaturen oder kürzere Zykluszeiten ein Auswerfen interner Hinterschneidungen erleichtern, während längere Zykluszeiten und höhere Schwindung das Auswerfen externer Hinterschneidungen erschweren.

Aufgrund der geringen Dehnung von glasfaserverstärkten Polyamiden sollten Hinterschneidungen über 3% vermieden werden. Eine Konizität (Entformungsschräge) von ¼ bis 1° an Rippen, Gewindebasen, Seiten und Angüssen sollte ausreichen.

5.5 Thermischer Regelkreis des Werkzeugs

Aufgrund des hohen Einflusses der Werkzeugtemperatur auf die Kristallisation – und die mechanischen Eigenschaften – bei kristallinen Kunststoffen, sollte der Regelkreis sorgfältig ausgelegt werden, um eine optimale Werkzeugtemperaturverteilung zu erzielen.

Die Werkzeugtemperatur stellt bei einem optimalen Verarbeitungszyklus einen Kompromiß zwischen einem heißen Werkzeug für eine leichte Formfüllung und gute Oberflächenqualität und einem kalten Werkzeug für ein schnelles Erstarren und Ausformen des Formteils dar.

Idealerweise sollten die Kühlkanäle in solchen Bereichen angeordnet werden, die den größten Wärmedurchgang erfordern. Der Abstand dieser Kanäle zur Wand der Formhöhlung sollte 1 Kanaldurchmesser nicht unterschreiten.

Um eine Zeitkonstanz der Werkzeugtemperatur zu erreichen, sollte die Temperaturdifferenz zwischen dem ein- und auslaufendem Kühlmittel (Wasser, Öl usw.) so gering wie möglich sein (maximal 5° C). Die Fließrate des Kühlmittels durch die Kanäle muß so hoch sein, daß kleine Fluktuationen der Fließrate ohne Einfluß auf die Werkzeugtemperatur bleiben.

Bei engen Toleranzen sollten die Formhöhlungen mit parallel angeordneten Kanälen gekühlt werden.

Bei der Dimensionierung des Kanals muß der Werkzeugkonstrukteur zwei sich widersprechende Zielsetzungen erfüllen:

- Der Kanal muß groß genug sein, um eine für die Wärmeabfuhr ausreichende Durchsatzrate des Kühlmittels zu gewährleisten.
- Der Kanal muß klein genug sein, um einen turbulenten Durchfluß zu gewährleisten, da der Wärmeübertragungskoeffizient bei einem turbulenten Durchfluß weitaus besser ist.

5.6 Heißkanalwerkzeuge

Auf dem Markt sind eine Vielzahl von kommerziell verfügbaren Heißkanalsystemen erhältlich. Hersteller bieten eine breite Typenpalette an. Dies erlaubt die Auswahl des richtigen Systems für entsprechende Anwendungen und Rohmaterialien.

Der Verarbeitungsbereich und das Erstarrungsverhalten von amorphen und teilkristallinen Kunststoffen sind äußerst unterschiedlich. Diesem Punkt muß besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Eine sorgfältige Auswahl des Heißkanalsystems ist immer erforderlich, insbesondere für die flammwidrigen Typen.

Die wichtigsten Richtlinien für die Auswahl des Systems und konstruktive Anforderungen für ZYTEL®/ MINLON® werden in diesem Abschnitt dargelegt.

Thermische Isolierung

Aufgrund des engtolerierten Verarbeitungsbereiches hinsichtlich der Schmelzetemperatur für Polyamid, ist eine gut ausgelegte thermische Isolierung zwischen dem Heißkanal und dem Werkzeug erforderlich, um große Temperaturunterschiede innerhalb des Systems zu vermeiden. Siehe die in Abb. 28 und 29 gezeigten Beispiele für Polyamid 6.6 Typen.

Verteilerstücke

Für eine sorgfältige Behandlung der Schmelze ist eine gleichmäßige Temperaturverteilung wesentlich. Folgende Prinzipien müssen bei dem Verteilerstück berücksichtigt werden:

- Geringer Druckverlust.
  Nur Verteilerstücke, dessen Durchmesser vollständig für den Durchfluß zur Verfügung stehen, werden empfohlen (Abb. 30).
  Von innen geheizte Systeme mit einem Ringfluß sind weniger geeignet.
- Ein Fließweg ohne frontal aufeinandertreffende Ströme wird empfohlen (Abb. 31).
- Strömungsgünstig balanzierte Düsenanordnungen werden empfohlen (Abb. 32). Dies stellt einen gleichmäßigen Druckabfall und die gleiche Verweilzeit für jeden Einspritzpunkt sicher.

Abb. 28 Temperatur im Heißkanalbereich für PA66

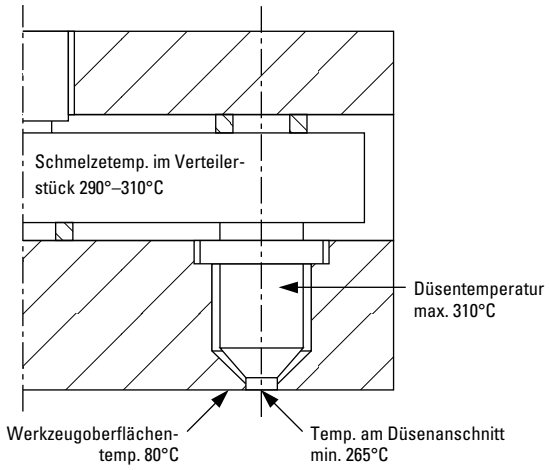


Abb. 29 Einfluß der thermischen Isolierung auf das Temperaturprofil in der Düse

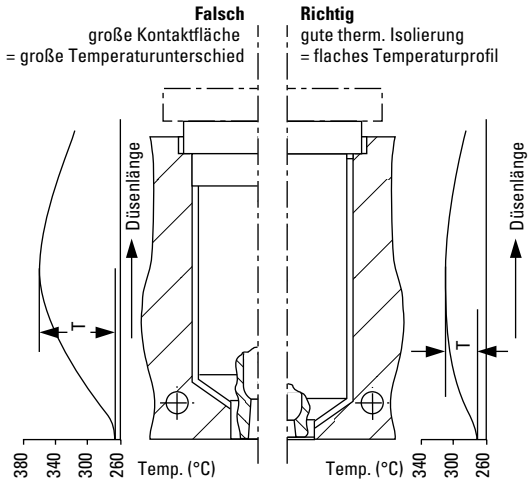


Abb. 30 Querschnitt für Durchfluß und Aufheizung des Verteilerstück

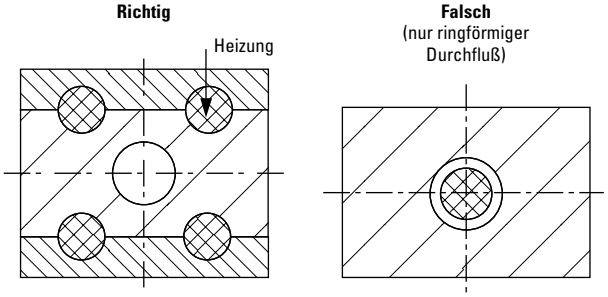


Abb. 31 Fließwegauslegung

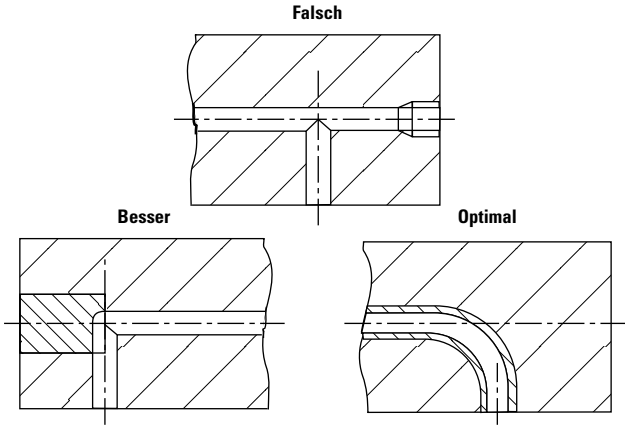
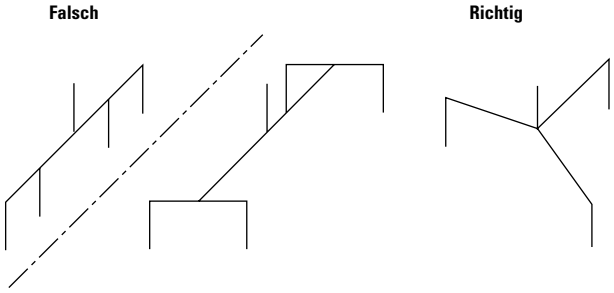


Abb. 32 Düsengestaltung für Mehrfachwerkzeug

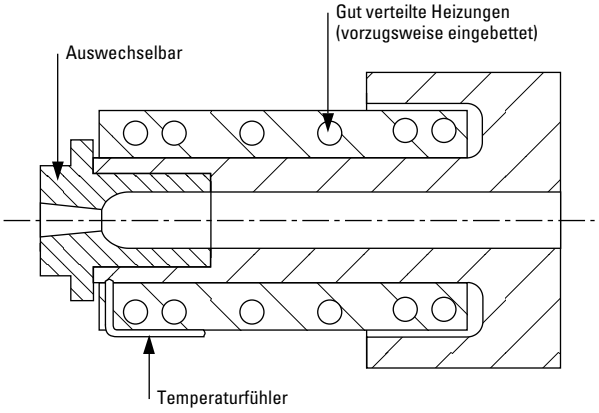


Düsen

Die wichtigsten Faktoren für gute Ergebnisse sind geringer Druckverlust und gut ausgelegte Temperaturverteilung mit einer Thermoelementregelung im Anschnittbereich.

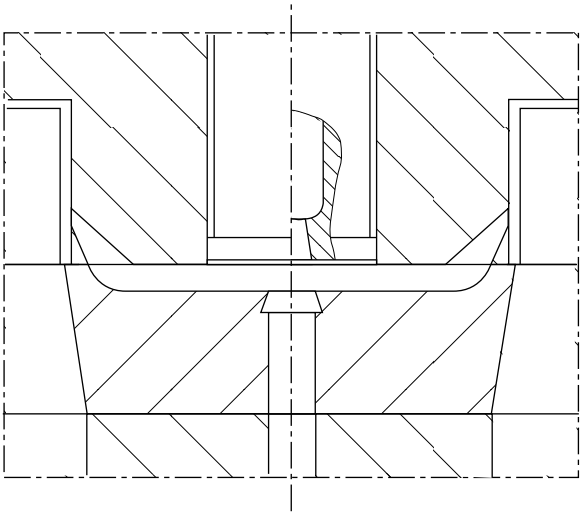
Optimale Lösung:
Extern beheizte offene Düsen mit einem völlig freien Fließkanal sind soweit wie möglich einzusetzen (Abb. 33).

Abb. 33 System für empfohlene Düsen auswechselbar



Diese können für Anwendungen mit kalten Unterverteilern verwendet werden (Abb. 34).

Abb. 34 Kalte Unterverteiler mit extern beheizter Düse



Insbesondere Materialien mit Faser- oder Mineralverstärkung sollten vorzugsweise auf diese Weise verarbeitet werden. Ein Loch gegenüber dem Anschnitt wird jegliche kalte Pfropfen aus der Düse auffangen.

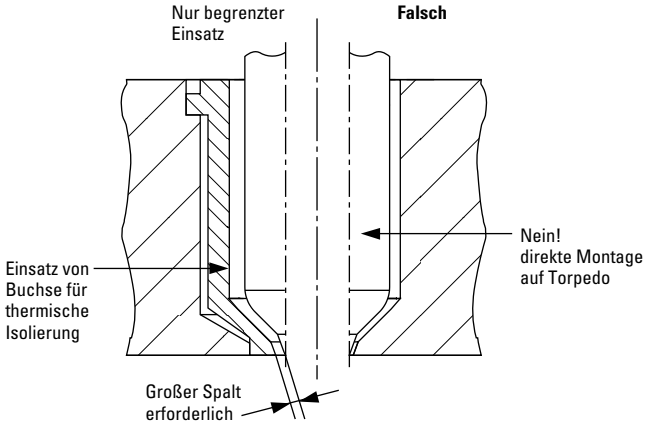
Für die direkte Anspritzung können diese Düsen mit einer Modifikation im Anschnittbereich verwendet werden (kleiner Torpedo), um die Bildung von «Fäden» zu vermeiden.

Weniger empfehlenswert:

- Düsen, die den Schmelzestrom in zwei oder mehr kleinere Ströme aufteilen.
- Düsen mit Totstellen in der Frontzone
- Innen geheizte Systeme mit nur einem ringförmigen Durchfluß.

Falls diese Typen für die direkte Einspritzung verwendet werden müssen, ist eine Buchse als thermische Isolierung äußerst wichtig, um einen äußerst kleinen Einspritzpunkt zu erhalten (Abb. 35).

Abb. 35 Innen geheizte Heißkanaldüse



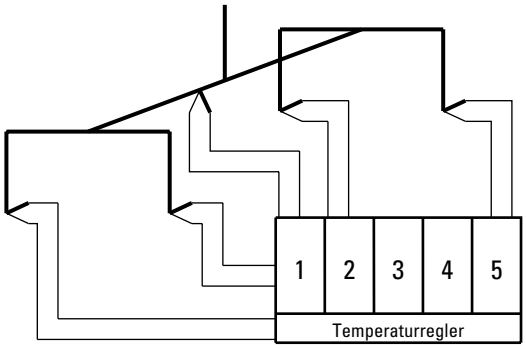
Die Verwendung von Verschlußdüsen ist immer ein Kompromiß. Um trotz ihres Einsatzes eine gute Oberflächenqualität im Anschnittbereich zu erhalten, ist folgendes zu beachten:

- Abgesehen von den sehr hohen Kosten können sie einen hohen Druckabfall aufgrund des ringförmigen Durchflusses verursachen. Der Fließweg läßt sich nicht gut auslegen. Bei verstärkten Kunststoffen können funktionale Probleme im Dichtungssystem auftreten.
- Eine Düsen-/Verschlußkombination mit großem Querschnittsbereich sollte für den Durchfluß verwendet werden. Hydraulisch betriebene Einheiten werden empfohlen, während von einem System mit einer Feder abzuraten ist.

Temperaturregelung

Eine separate Closed-Loop-Temperaturregelung für das Verteilerstück wird empfohlen (Abb. 36). Die besten Ergebnisse werden mit automatischen Temperaturreglern mit PID-Regelkreis erzielt. Sie erlauben eine minimale Abweichung von der Solltemperatur.

Abb. 36 Temperaturregelung für jede Düse und das Verteilerstück

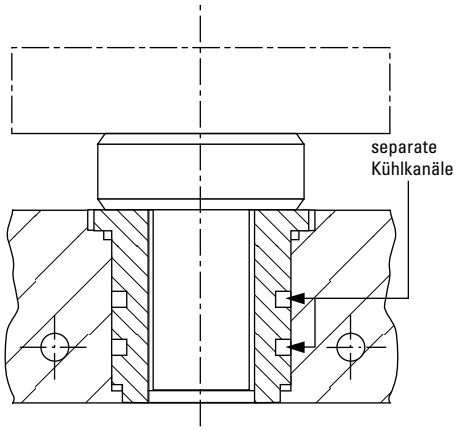


Kühlkanäle in Heißkanalwerkzeugen

Der Einsatz von separaten Heiz-/Kühlkanälen im Heißkanaldüsenbereich ist vorteilhaft (Abb. 37).

Die Temperaturbedingungen im Heißkanalbereich können dann weitaus einfacher erreicht werden, ohne die gesamte Werkzeugtemperatur zu beeinflussen.

Abb. 37 Separate Heiz-/Kühlkanäle im Heißkanalbereich



6. Maschinenparameter

6.1 Schmelzetemperatur

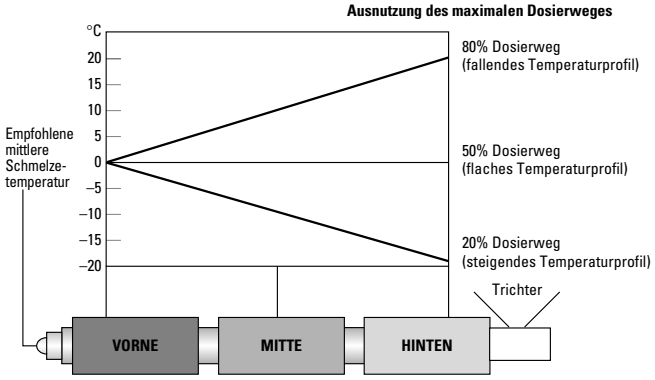
Die Schmelzetemperatur wird direkt an der Polymerschmelze gemessen (mit einem Einstichpyrometer). Sie sollte während eines Verarbeitungsganges regelmäßig geprüft werden, um sicherzustellen, daß die empfohlenen Grenzwerte nicht überschritten werden. Typische Temperaturen für Polyamide von DuPont werden in TEIL II aufgeführt.

6.2 Zylindertemperaturprofil

Die Temperatur der Schmelze und ihre Homogenität in einer Spritzgießmaschine werden von den Einstellungen der Zylindertemperatur, der Schneckengeometrie und -Drehzahl und der Verweilzeit bestimmt. Eine unabhängige Temperaturregelung von mindestens drei Zylinderzonen ist vorzusehen. Auch die Düsentemperatur sollte unabhängig geregelt werden.

Richtlinien zur Auswahl des Zylindertemperaturprofils in Abhängigkeit vom Hub und der Verweilzeit werden in Abb. 38 angegeben. Da die Konstruktion von Schneckenzylindern variiert ist es nicht möglich, ein Temperaturprofil festzulegen, das für alle Fälle zutrifft.

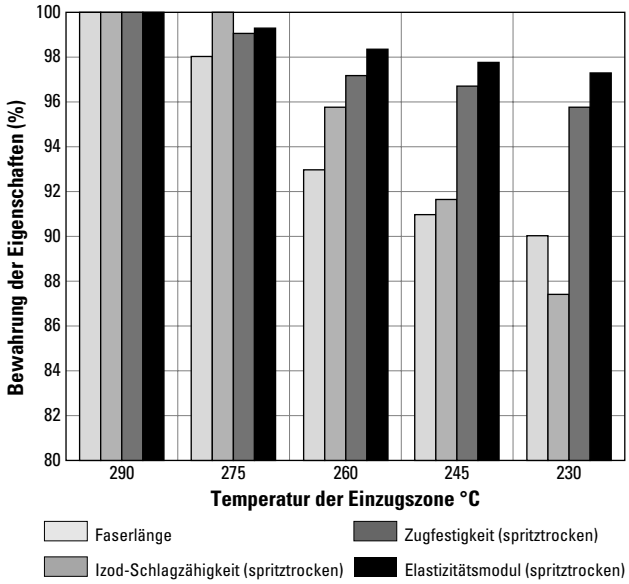
Abb. 38 Temperatureinstellung des Zylinders



Die Temperatur der Trichterzone ist wichtig und muß mit einem gut positioniertem Kühlsystem auf 70 – 90° C gehalten werden, um Feststoffbrücken durch überhitzten Kunststoff zu vermeiden (siehe Abb. 16 und 17).

Bei glasfaserverstärkten Polyamiden kann das Zylindertemperaturprofil die Faserlänge im Formteil beeinflussen, dann wenn die Temperatur in der hinteren Zone zu niedrig ist. Außerdem erhöht sich die Plastifizierzeit, während hohe Drehzahlmomente auftreten. Wie Abb. 39 zeigt, vermindert eine Reduzierung der kritischen hinteren Zonentemperatur die durchschnittliche Faserlänge und somit die Izod-Zugfestigkeit und das Elastizitätsmodul, obwohl der bedeutendste Verlust bei der Schlagzähigkeit auftritt.

Abb. 39 Einfluß der hinteren Zonentemperatur auf die durchschnittliche Faserlänge und Eigenschaften (für verstärktes Polyamid 66)



Eine hintere Temperatureinstellung von 290° C ist die empfohlene Mindesttemperatur für glasfaserverstärkte Polyamide 66. Eine zu hohe Temperatur der hinteren Zone kann ein vorzeitiges Aufschmelzen des Kunststoffes verursachen und somit Brückenbildungen und unregelmäßigen Vorschub.

Bei der Verarbeitung von glasfaserverstärkten Polyamiden sollte eine hohe Temperatur der hinteren Zylinderzone eingesetzt werden, um:

- die Plastifizierzeiten zu verbessern.
- Beschädigungen der Glasfasern zu reduzieren.
- Möglichen Verschleiß aufgrund des Abriebs zwischen ungeschmolzenen Partikeln, Schnecke bzw. Zylinder zu reduzieren.
- Drehzahlbelastungen der Schnecke und damit Schneckenüberlastung oder -Beschädigung bei kurzen Zykluszeiten zu reduzieren.

6.3 Düsentemperatur

Die Düse sollte nur als Schmelzeförderrohr agieren und darf die Schmelzetemperatur nicht beeinflussen. Die Düsentemperatur sollte so eingestellt werden, daß ein Einfrieren oder Tropfen verhindert wird. Für eine optimale Funktionstüchtigkeit sollte die Düsentemperatur unabhängig an einem Punkt in Öffnungsnähe geregelt werden.

Um ein Tropfen zu verhindern, wird eine Dekompression von wenigen Millimetern nur dann empfohlen, wenn eine offene Standard-Düse verwendet wird, wie sie in Abb. 21 dargestellt ist. Ein zweites, ebenfalls unabhängig geregeltes Heizelement, das auf Mindesttemperatur gehalten wird, kann für eine längere Düse erforderlich werden.

Bei einer langen Düse ist es ratsam, ein zweites Heizelement an der Vorderseite zur Einfrier-/ Tropfkontrolle vorzusehen.

6.4 Einspritzgeschwindigkeit und -Druck

Fast alle modernen Spritzgießmaschinen zeigen den Einspritzdruck, der zum Erreichen der Einspritzgeschwindigkeit erforderlich ist.

Die optimale Füllgeschwindigkeit für ein Teil hängt von der Teilegeometrie, der Anschnittgröße und der Schmelzetemperatur ab. Bei Teilen mit dünnwandigen Querschnitten sind in der Regel hohe Einspritzgeschwindigkeiten erforderlich, um das Teil zu füllen, bevor der Kunststoff erstarrt. Bei der Herstellung dickwandiger Querschnitte oder von Teilen mit relativ kleinen Anschnitten, ist es gelegentlich vorteilhaft, mit einer langsamen Einspritzgeschwindigkeit zu arbeiten, um ein Erstarren des Anschnittes zu verzögern und somit den Zeitraum für die Verdichtung des Teils möglichst lange zu gestalten.

Der Oberflächenglanz wird einheitlicher, wenn die Einspritzgeschwindigkeit schnell genug ist, um die Formhöhlung vor dem Erstarren des Polyamid zu füllen.

Da glasfaserverstärkte oder ansonsten nukleierte Polyamide weitaus schneller erstarren als unverstärkte Polyamide, sind schnelle Einspritzgeschwindigkeiten erforderlich.

Dennoch kann eine zu hohe Schergeschwindigkeit am Anschnitt die Eigenschaften beeinträchtigen. Abb. 40 gibt Richtlinien für unverstärkte Polyamidtypen. Zu beachten ist, daß eine schlechte Oberflächengüte (Eisblumen) normalerweise durch eine vorzeitige Erstarrung aufgrund einer zu langsamen Füllgeschwindigkeit verursacht wird und häufig mit einer schlechten Glasfaserdispersion oder feuchtem Kunststoff (Fehlstellen an der Anbindung) verwechselt wird.

Die Schmelzeviskosität steigt mit dem Glasfasergehalt. Aus diesem Grund ist der für glasfaserverstärkte Polyamide erforderliche Einspritzdruck höher als bei unverstärkten Polyamiden. Drücke im Bereich von 75 bis 100 MPa sind in der Regel erforderlich.

Abb. 40 Max. Einfüllgeschwindigkeiten als Funktion von kreisförmigen Anschnittquerschnitten für unverstärktes Polyamid 66

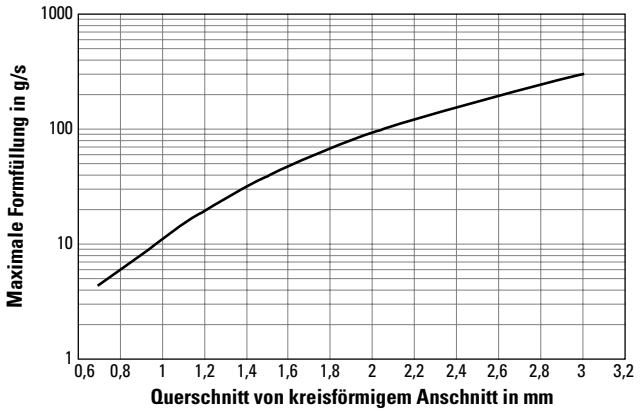


Abb. 41 Fließweglängen als Funktion vom Einspritzdruck für ZYTEL® 101 bei 65° C Werkzeugtemperatur

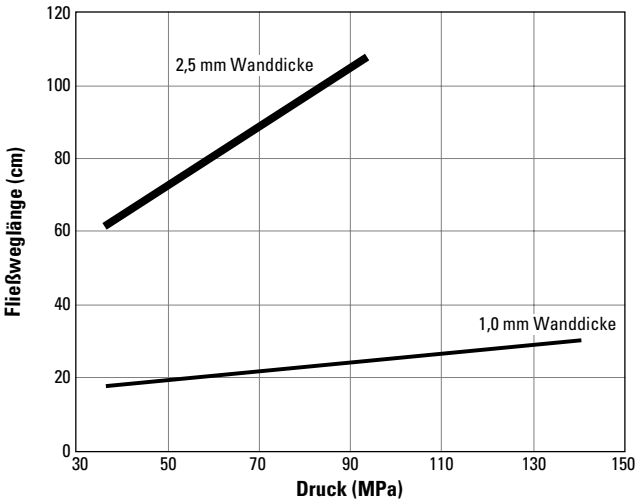
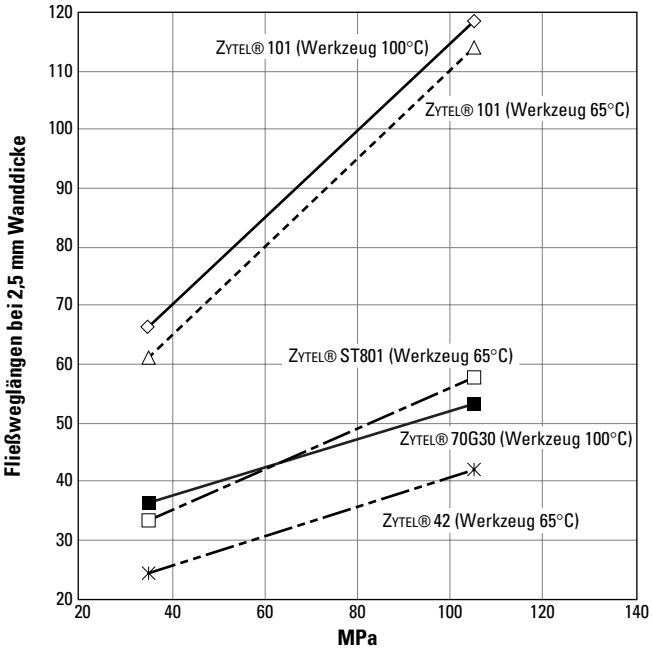


Abb. 42 Fließweglängen als Funktion vom Einspritzdruck für mehrere ZYTEL® Typen



Die Abhängigkeilt der Fließweglänge vom Einspritzdruck und der Wanddicke sind in Abb. 41 und 42 für verschiedene ZYTEL® Typen dargestellt. Die Schmelzetemperatur entspricht den empfohlenen Einstellungen für die untersuchten ZYTEL® Typen.

Ein übermäßiger Druck kurz vor vollständiger Formfüllung kann zu einem hochbeanspruchten Bereich in Anschnittnähe führen und zu einer verminderten Funktionstüchtigkeit des Formteils im Einsatz.

Häufig empfiehlt sich ein zwei-Stufen-Zyklus:

- Anfängliches Einspritzen bei hoher Geschwindigkeit, um die Form bei gewünschter Temperatur zu füllen und anschließend
- Füllung mit **reduzierter** Geschwindigkeit, um Verbrennungen am Ende des Füllvorgangs zu vermeiden
- Einstellen des Übergangspunktes von der dynamischen Einspritzphase zur statischen Nachdruckphase so spät wie möglich, jedoch nicht nach vollständiger Formfüllung.

6.4.1 Dynamischer Druckverlust (DDV)

Ist das Werkzeug mit Druckgebern ausgestattet, läßt sich eine Änderung der Schmelzenviskosität ermitteln, die zu einer Änderung des für die Formfüllung erforderlichen Druckes führt.

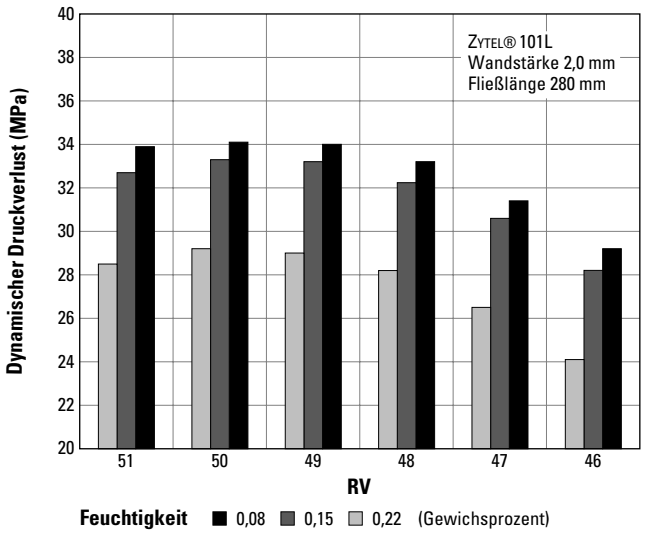
Zwei Druckgeber sind für diesen Zweck erforderlich, da die Berechnung auf dem dynamischen Druckabfall basiert – dem Druck am ersten Sensor, wenn die Schmelze den zweiten Sensor erreicht, wie Abb. 10 zeigt.

Beispielsweise kann eine Änderung der relativen Viskosität des Kunststoffes oder des Feuchtegehalts indirekt über den DDV gemessen werden.

Die relative Viskosität (RV) ist ein zuverlässiges Maß für das durchschnittlichen Molekulargewicht und wird routinemäßig im Labor bestimmt. Sie ist eine sinnvolle Richtschnur für die Schlagzähigkeit und steht in Wechselbeziehung mit der Viskosität der Schmelze.

Hydrolyse- und Polykondensationsreaktionen finden während der Verarbeitung statt. Sie führen zu Änderungen des Molekulargewichtes und der Viskosität der Schmelze und somit des DDV. Gleichzeitig beeinflussen Feuchtigkeit, Schmelzetemperatur und Verweilzeit die Reaktionen. Abb. 43 zeigt die Beziehung zwischen DDV, RV und Feuchteghalt für Polyamid 66.

Abb. 43: Dynamischer Druckverlust in Abhängigkeit des Feuchtegehalts und der RV von Granulaten



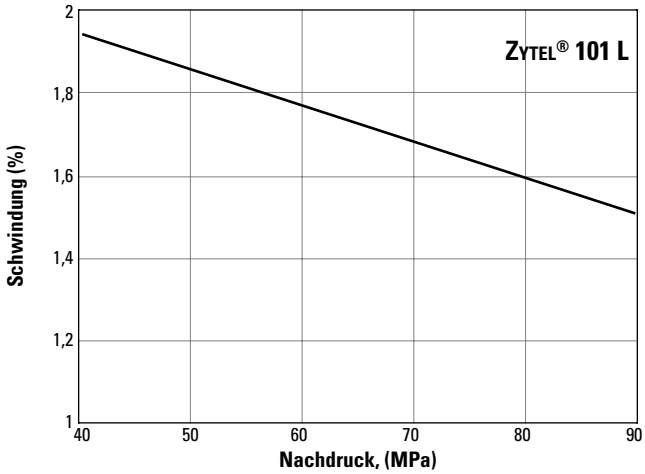
6.5 Nachdruck und Nachdruckzeit (HPT)

6.5.1 Nachdruck

Wie bei allen thermoplastischen Materialien hängt die Formteilschwindung von Polyamiden größtenteils vom Nachdruck und von der Zeitdauer ab, mit der die Polymerschmelze in der Formhöhlung mit Druck beaufschlagt wird. Druck wird während des Kristallisationsprozesses auf den Kunststoff ausgeübt, um die Volumenminderung zu kompensieren und die Schwindung des Teils zu begrenzen (siehe Kapitel 2.1 *Materialstruktur*).

Aufgrund der kristallinen Struktur von Polyamiden wird der größtmögliche Nachdruck beaufschlagt, um die Formteilschwindung zu reduzieren, in der Regel etwa 90 MPa. Eine Abweichung von 10 MPa führt zu einer Abweichung der Schwindung von etwa 0,1% (siehe Abb. 44).

Abb. 44 Schwindung als Funktion des Nachdruckes für ein 3 mm dickes Teil und eine Werkzeugtemperatur von 70° C

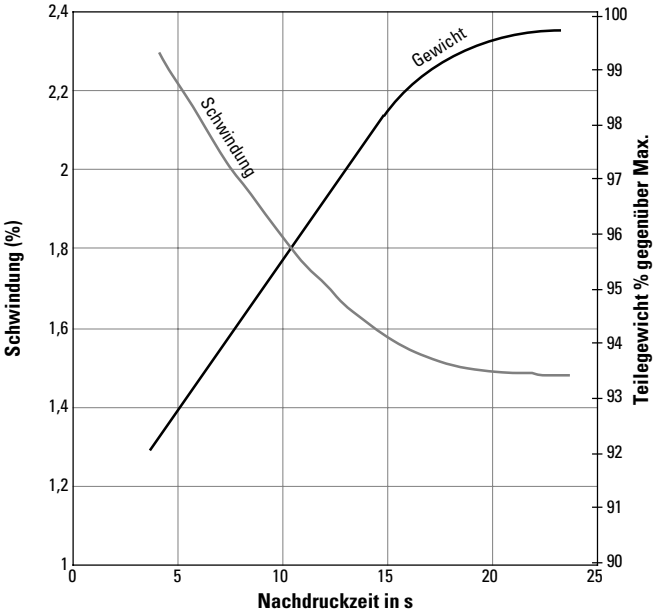


Es ist wichtig, nur einen Nachdruck während der gesamten Nachdruckzeit zu verwenden. Ist dies nicht der Fall, könnte das Teil eine ungleichmäßige Kristallinität aufweisen, was zu schlechteren mechanischen Eigenschaften führt.

6.5.2 Nachdruckzeit

Die Formteilschwindung von Polyamiden hängt vom Nachdruck, doch auch von der Zeitdauer ab, in der die Polymerschmelze in der Formhöhlung mit Druck beaufschlagt wird. Diese wird Nachdruckzeit genannt. Um Teile mit einem guten Aussehen, guten mechanischen Eigenschaften, Dimensionsstabilität und ohne Verzug zu erhalten, sind ein ausreichender Nachdruck und eine ausreichende Nachdruckzeit erforderlich. Es muß jedoch betont werden, daß die Nachdruckzeit nur dann wirksam ist, wenn die Teile korrekte Anschnittabmessungen aufweisen. Der Anschnitt sollte genau dann einfrieren, wenn das Teil vollständig kristallisiert ist und nicht zu einem früheren Zeitpunkt. Die Nachdruck-

Abb. 45 Schwindung und Teilegewicht als Funktion vom Nachdruck für Zeit ZYTEL® 101 L (für ein Teil von 3 mm Dicke)



zeit hängt von der Teiledicke und in geringerem Maße von der Werkzeugtemperatur ab.

Eine hervorragende Methode zur Bestimmung der korrekten Nachdruckzeit unter standardmäßigen Verarbeitungsbedingungen ist das Wiegen eines Formteils bei verschiedenen Nachdruckzeiten. Eine typische Kurve für solche Messungen wird in Abb. 45 gezeigt. Während des Tests sollte die Gesamtzykluszeit konstant gehalten werden, um eine gleichbleibende Schmelzetemperatur aufrechtzuerhalten. Die korrekte Nachdruckzeit wird erreicht, wenn das Teilegewicht erstmals den Höchstwert erreicht.

Ebenso gezeigt wird in Abb. 45, daß die Schwindung bei der korrekten Nachdruckzeit ein Minimum erreicht.

Typische Nachdruckzeiten werden im Teil II für Kunststoffe aufgelistet, die unter Standardbedingungen hergestellt wurden.

Mit einem einzelnen Sensor wird die Kristallisationszeit durch Analyse des Forminnendruckes im Anschnitt ermittelt, der in Angußnähe liegt. Dies erfolgt innerhalb eines einzelnen Formgebungszyklusses durch Analyse der Druckkurvenänderungen während der Nachdruckphase.

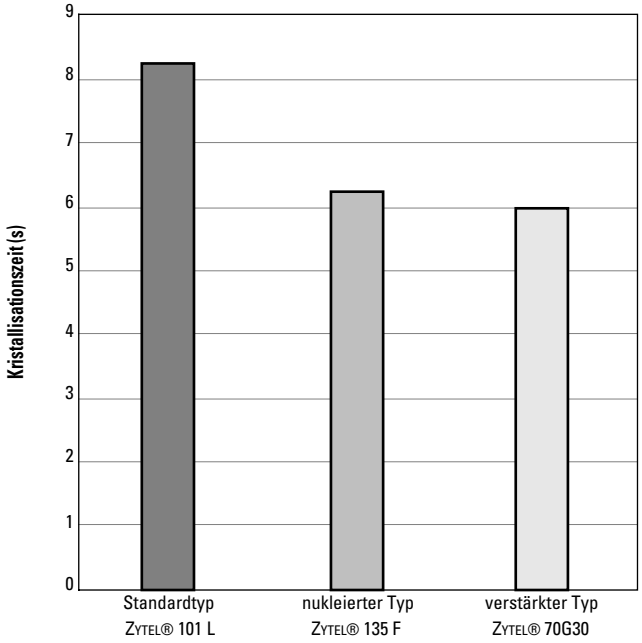
Das System ermittelt die Kristallisationsgeschwindigkeit des Kunststoffes unter festgelegten Verarbeitungsbedingungen – die Kristallisation kann mit der Schmelzetemperatur oder der Werkzeugtemperatur variieren. Die Anwesenheit von Keimbildnern, beispielsweise Pigmente oder Mahlgut in der Schmelze, beeinflussen die meßbare Kristallisationsgeschwindigkeit. Wie ein Vergleich zwischen mehreren ZYTEL® 66 Polyamiden in Abb. 46 zeigt, lassen sich beträchtliche Unterschiede innerhalb der Gruppen feststellen, die gleiche Polyamidtypen umfassen.

Die Kristallisationszeit verschiedener Polyamide, die mit dieser Methode gemessen wurde, zeigt Abb. 46.

6.6 Schneckendrehzahl und Staudruck

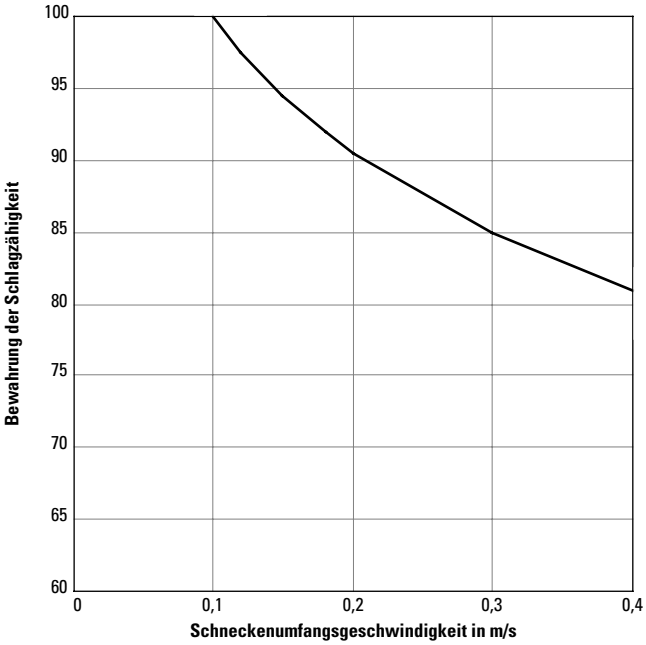
Die Friktionserwärmung durch die Schnecke sollte etwa 80% der Energie für den Temperaturanstieg auf einen gleichmäßigen Wert darstellen (Heizbänder leisten einen geringen Beitrag). Daher sollten die Geometrie und Betriebsdaten der Schnecke ebenso berücksichtigt werden.

Abb. 46 Kristallisationszeit mehrerer ZYTEL® Typen



Formteil 2 mm Dicke, verarbeitet bei empfohlener Werkzeugtemperatur mit einem Nachdruck von 85 MPa. Die Schmelzetemperatur beträgt 290° C.

Abb. 47 Einfluß der Schneckendrehzahl auf die Schlagzähigkeit



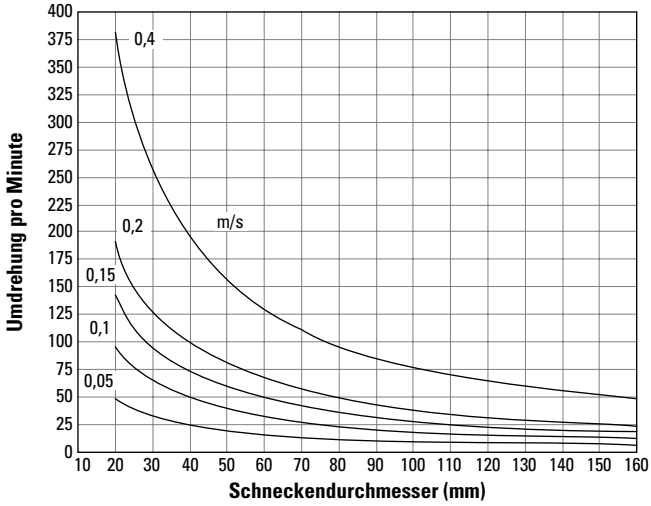
Bei unverstärkten Polyamiden beträgt die maximale Drehzahl 0,4 m/s.

Bei glasfaserverstärkten Polyamiden sollte die Schneckendrehzahl niedrig sein. Eine maximale Umfangsgeschwindigkeit von 0,15 m/s wird empfohlen, um den Glasfaserbruch auf ein Minimum zu reduzieren und einen übermäßigen Verschleiß der Schnecke oder des Zylinders zu vermeiden.

Der Einfluß der Schneckendrehzahl auf die Schlagzähigkeit von glasfaserverstärktem ZYTEL® ist in Abb. 47 dargestellt.

Die Kurve in Abb. 48 kann verwendet werden, um die maximale Schneckendrehzahl als Funktion vom Schneckendurchmesser und der Umfangsgeschwindigkeit zu bestimmen.

Abb. 48 Schneckendrehzahl als Funktion vom Schneckendurchmesser



Ein Ansteigen der Schneckendrehzahl bei einer Mehrzweckschnecke mit niedriger Kompression führt häufig zu einer Senkung der Schmelzetemperatur. Schnecken mit tief und kurz geschnittenen Meteringzonen können ungeschmolzene Partikel bei hohen Schneckendrehzahlen pumpen.

Wenig Staudruck sollte eingesetzt werden. Die Funktion des Staudruckes liegt darin, zusätzliche Friktion zu erzeugen. Zu hoher Standruck kann Faserbrüche verursachen und damit eine Verschlechterung der physikalischen Eigenschaften des Formteils. Ein Anstieg des Staudruckes erhöht die Scherarbeit der Schnecke. Dies Steigert die Schmelzetemperatur zusätzlich steigern. Zu geringer Staudruck kann zu unaufgeschmolzenen Partikeln führen.

Ein höherer Staudruck wird ebenso die Plastifizierzeit verlängern.

6.7 Dekompression

Normalerweise ist eine Dekompression der Schmelze nur erforderlich, um ein Ausfließen des Materials aus der Düse zu vermeiden. Der Einsatz der Dekompressionshubs trägt dazu bei, ein Tropfen der Düse aus Heißkanalwerkzeugen zu vermeiden und ein Ausströmen aus enlüfteten Zylindern zu stoppen.

Eine übermäßige Dekompression kann dazu führen, daß Luft durch die Düse eingesaugt wird. Dies verursacht möglicherweise eine Oxidation des Materials, die im Formteil als verfärbte Bereiche sichtbar wird. Eine weitere Folge kann zudem das Einspritzen eines kalten Pfropfens im nächsten Schuß sein, der zu Oberflächenfehlern, schwachen Formteileigenschaften und ungleichmäßigern Gewicht führt.

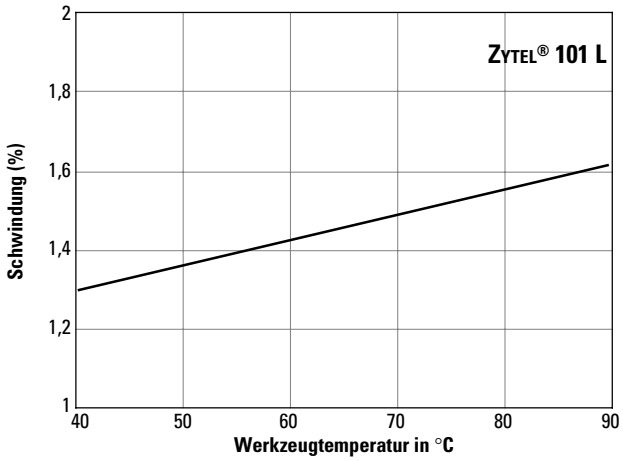
6.8 Werkzeugtemperatur

Da Polyamid ein teilkristalliner Kunststoff ist, weist er im Vergleich zu amorphen Materialien eine relativ hohe Formschwindung auf. In der Regel beeinflußt die Kühlrate den Kristallisationsgrad und daher die Schwindung.

Die Kühlrate beim Spritzgießen wird hauptsächlich von der Teiledicke und der Werkzeugtemperatur bestimmt.

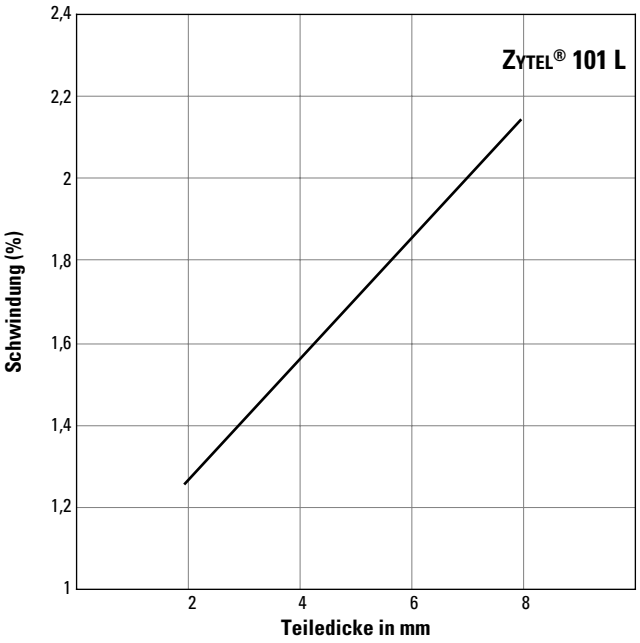
Bei niedriger Temperatur ist die Kühlrate hoch, wodurch der Kristallinitätsgrad niedriger ist als bei hohen Werkzeugtemperaturen. Daher steigt die Formteilschwindung mit der Werkzeugtemperatur, wie Abb. 49 zeigt.

Abb. 49 Schwindung als Funktion der Werkzeugtemperatur für ein 3 mm dickes Teil und einen Druck von 90 MPa



Bei dickwandigen Teilen ist die Kühlgeschwindigkeit aufgrund der niedrigen Wärmeleitfähigkeit von Thermoplasten weitaus langsamer als bei dünnwandigen Teilen. Somit weisen dünnwandige Teile einen niedrigeren Kristallinitätsgrad auf. Die Schwindung steigt mit zunehmender Wanddicke, wie Abb. 50 zeigt.

Abb. 50 Schwindung als Funktion der Teiledicke für eine Werkzeugtemperatur von 70° C und einem Nachdruck von 90 MPa



Bei der optimalen Werkzeugtemperatur, wie sie für jeden Typ in Teil II aufgelistet wird, läßt sich der optimale Kristallisationsgrad erreichen.

Außerdem weisen Teile, die bei hohen Temperaturen geformt wurden, eine geringere Nachschwindung und gute Dimensionsstabilität auf. Niedrige Temperaturen führen zu einer hohen Nachschwindung, die manchmal die Eigenspannungen stark ansteigen läßt. Diese können häufig zu einem vorzeitigen Versagen von Formteilen führen.

Manchmal wird ein kaltes Werkzeug verwendet, um die Zähigkeit zu verbessern. Doch die hiermit verbundenen Vorteile fallen kaum ins Gewicht, da die Feuchteaufnahme an sich die Zähigkeit von Formteilen verbessert. Ein kaltes Werkzeug führt zudem zu beträchtlicher Nachschwindung und -kristallisation und ist daher zu vermeiden.

Glasfaserverstärkte Kunststoffe können über einen weiten Temperaturbereich verarbeitet werden. Um jedoch eine optimale Oberflächenqualität zu erzielen, sollte das Werkzeug heiß sein (normalerweise 100° C – 120° C). Hohe Werkzeugtemperaturen erfordern Ölheizungen oder Wasserdruck-Temperaturregler, werden jedoch die Oberflächenqualität beträchtlich verbessern und Oberflächendefekte (Eisblumen) reduzieren.

6.9 Kühlzeit

Aufgrund der kristallinen Struktur von Polyamiden entfällt ein Kühlen des Formteils, nachdem der Kristallisationsprozeß abgeschlossen ist (nach der Nachdruckzeit). Das Teil ist starr genug, um ausgeworfen zu werden.

6.10 Ausformen des Formteils

Das in MINLON® und ZYTEL® vorhandene Schmiermittel reicht in der Regel aus, um ein Teil, selbst bei komplexen Formhöhlungen, auszuwerfen.

7. Bedienung der Spritzgießmaschine

7.1 Anfahren

Maschinen mit thermisch sensiblen Kunststoffen wie Acetal, PVC oder Kunststoffen mit höheren Verarbeitungstemperaturen als Polyamide, sollten mit hochdichtem Polyethylen (HDPE) oder Polystyrol (PS) vor Inbetriebnahme mit ZYTEL® durchgespült werden.

Große Maschinen, in denen zuvor ABS oder Polycarbonat verarbeitet wurde, können ein spezielles Reinigungsverfahren erfordern, beispielsweise:

- Reinigung mit HDPE (vorzugsweise Extrusionstypen).
- Reinigung mit glasfaserverstärktem ZYTEL®.
- Reinigung mit Akrylharz.
- Reinigung mit HDPE.

Während des letzten Reinigungsganges mit HDPE sollte die Zylindertemperatur so eingestellt werden wie für den eingesetzten Polyamidtyp empfohlen.

Im folgenden das herkömmliche Anfahrverfahren:

1. Prüfen Sie, ob der Dosierschieber des Trichters geschlossen ist.
2. Stellen Sie die Zylindertemperatur auf 10° C unterhalb der minimalen Verarbeitungstemperatur ein. Temperieren Sie mindestens 20 Minuten. Erhöhen Sie die Zylindertemperaturen auf die Sollwerte.
3. Prüfen Sie, ob die Düse die korrekte Temperatur aufweist.
4. Prüfen Sie, ob die Schnecke freigängig ist. Dreht sie sich nicht, verlängern Sie die Temperierzeit des Zylinders.
5. Beginnt die Schnecke sich zu drehen, öffnen Sie kurz den Dosierschieber und schließen Sie ihn dann. Prüfen Sie die Drehzahlbelastung des Schneckenantriebs. Ist sie zu hoch, erhöhen Sie die hintere Zonentemperatur. Die Düse muß zu diesem Zeitpunkt «offen» sein.
6. Öffnen Sie den Dosierschieber und halten Sie die Schnecke in Vorlaufpositon. Extrudieren Sie die Schmelze und erhöhen Sie die vordere Zonentemperatur, falls ungeschmolzene Partikel sichtbar sind.
7. Stellen Sie den Hub auf ca. Schußgewicht ein. Nehmen Sie mehrere Ausspritzungen während der Gesamtzykluszeit vor. Reinigen Sie 10 Minuten und prüfen Sie dann die Schmelzetemperatur mit einem Einstichpyrometer.
   Nehmen Sie alle erforderlichen Einstellungen der Zylindertemperatur vor, um die empfohlene Schmelzetemperatur zu erreichen. (Dieses Verfahren sollte wiederholt werden, wenn eine bedeutende Zyklusveränderung auftritt.)
8. Bringen Sie den Einspritzzylinder in Vorlaufpositon. Starten Sie bei niedrigem Einspritzdruck und niedriger Geschwindigkeit (außer, wenn kurze Schüsse das Auswerfen der Teile behindert) und stellen Sie die Maschinenparameter für eine optimale Oberflächenbeschaffenheit des Teils ein (max. Schußgewicht). Eine schnelle Füllung ist in der Regel erforderlich.

7.2 Zyklusunterbrechung

Bei einer kurzen Zyklusunterbrechung wird folgendes Verfahren empfohlen, um einen Abbau des Polymers zu verhindern.

1. Ziehen Sie die Einspritzeinheit zurück.
2. Reduzieren Sie die Zylindertemperatureinstellungen und stellen Sie die Schmelzetemperatur 30° C unterhalb der empfohlenen Schmelzetemperatur ein.
3. Nehmen Sie während der Unterbrechung mehrere Ausspritzungen vor, um den sich abbauenden Kunststoff zu entfernen.

Sollte die Unterbrechung länger dauern, wird eine Reinigung mit HDPE oder Polystyrol empfohlen.

7.3 Abstellen

Die Maschine sollte mit Polystyrol oder Polyethylen abgestellt werden, wodurch die für ein anschließendes Anfahren erforderliche Zeit verkürzt und Verunreinigungsprobleme vermieden werden. Das folgende Verfahren wird empfohlen:

a) Schließen Sie den Trichter während der Verarbeitung. Schalten Sie den Zylinder und die Düsenheizung nicht ab.
b) Leeren Sie den Trichter. Dosieren Sie Polystyrol oder Polyethylen und extrudieren Sie, bis die Pumpe selbst trocken ist.
c) Lassen Sie die Schnecke in der Vorlaufposition.
d) Schalten Sie die Stromversorgung zu den Zylinderheizbändern ab.

7.4 Reinigung

Herkömmliche Reinigungsmaterialien, die Polyamide wirksam entfernen, sind Polystyrol, Akrylat (die Düse muß während der Reinigung entfernt werden) sowie hochdichtes Polyethylen (oder glasfaserverstärktes PE, gefolgt von HDPE). Glasfaserverstärkte Polyamide können effektiv mit folgendem Verfahren gereinigt werden:

a) Ziehen Sie die Spritzeinheit von der Angußbuchse zurück und halten Sie die Schnecke in Vorlaufposition.
b) Lassen Sie die Schnecke bei hoher Drehzahl laufen und pumpen Sie so viel Material wie möglich aus. Führen Sie Reinigungskompound zu und extrudieren Sie so lange, bis es sauber austritt. Zylindertemperaturen müssen eventuell je nach dem verwendeten Reinigungsmaterial eingestellt werden.
c) Es ist vorteilhaft, einige Ausspritzungen bei schneller Einspritzgeschwindigkeit durchzuführen, um die Zylinderwände vor der Zudosierung eines anderen Kunststoffes sauber zu schaben. Es ist jedoch darauf zu achten, daß hierbei ein Spritzen von aufgeschmolzenem Kunststoff vermieden wird.

8. Maßänderungen während und nach der Verarbeitung

Maßänderungen von Formteilen finden während der Verarbeitung statt und können nach der Herstellung und während des Einsatzes auftreten. Auf jeden Fall wird die Dimensionsstabilität von Formteilen durch folgende Punkte beeinflußt:

- Schwindung.
- Wasseraufnahme.
- Nachschwindung.
- Tempern.

Um den Prozeß der Wasseraufnahme und der Nachschwindung besser kontrollieren zu können, empfiehlt sich häufig das technologische Verfahren der Wasserkonditionierung und des Temperns.

8.1 Formschwindung

Sobald das Teil aus der Spritzgießmaschine fällt und auf Raumtemperatur heruntergekühlt ist, sind seine Abmessungen in der Regel kleiner als die der Formhöhlung.

Der prozentuale Unterschied wird als Formschwindung bezeichnet.

Die Schwindung schwankt jedoch beträchtlich angesichts der Vielzahl der Formteilgeometrien. Daher wurde die Formschwindung definiert, um die Kunststoffe vergleichen zu können und zwar als die Schwindung eines frontal angeschnittenen rechteckigen Stabes (127 × 12,7 × 3,2 mm), spritztrocken bei 23° C.

Die Formschwindung für alle Typen wird in Teil II aufgeführt.

Die Formschwindung hängt vom verarbeiteten Polyamidtyp, den Verarbeitungsbedingungen und der Werkzeugauslegung ab. Die kritischsten Parameter in jeder Kategorie sind:

1. Kunststofftyp:

- Prozentsatz an Glasfasern in der Einstellung.
- Vorhandensein eines Keimbildners.
- Pigmente.

2. Verarbeitungsbedingungen:

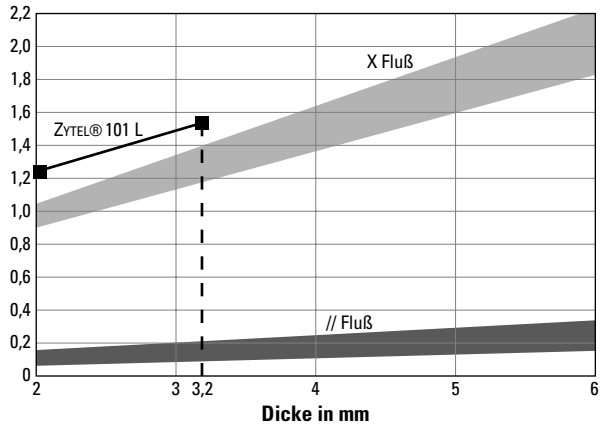
- Werkzeugtemperatur (Abb. 49)
- Schmelzetemperatur
- Einspritz- und Nachdruck (Abb. 44)
- Nachdruckzeit (Abb. 45)

3. Werkzeugkonstruktion:

- Teiledicke (Abb. 50, 51 und 52)
- Anschnittauslegung und -positionierung

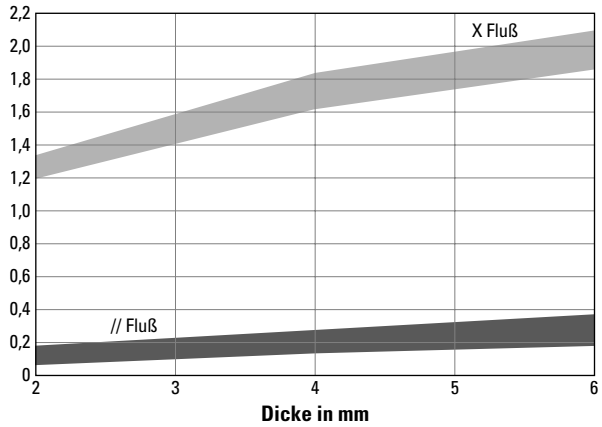
Bei glasfaserverstärktem ZYTEL® führt die Glasfaserorientierung zu unterschiedlicher Schwindung längs und quer zur Glasfaserorientierung. Längs zur Faserorientierung ist die Schwindung geringer als quer dazu.

Abb. 51 Begrenzte Schwindung* als Funktion der Dicke von ZYTEL® 70G35



* Nachdruck 75 MPa, optimale Nachdruckzeit , Werkzeugtemperatur 90° C und Schmelzetemperatur 295° C.

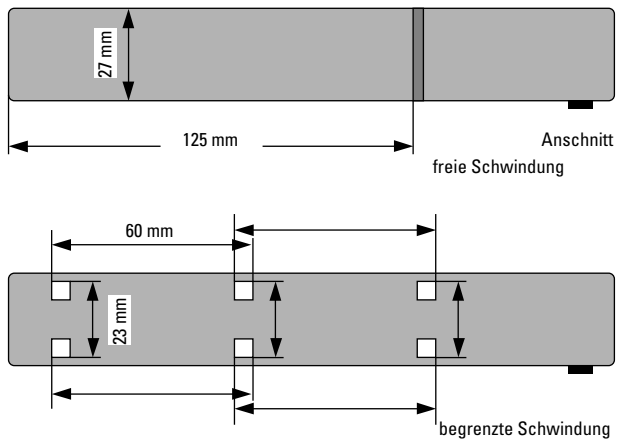
Abb. 52 Freie Schwindung* als Funktion der Dicke von ZYTEL® 70G35



* Nachdruck 75 MPa, optimale Nachdruckzeit, Werkzeugtemperatur 90° C und Schmelzetemperatur 295° C.

Aus diesem Grund ist es praktischer, ein Plattenwerkzeug zu verwenden, um die Schwindung in Fließrichtung von der Schwindung quer zu Fließrichtung zu differenzieren. Da Formteile sowohl aus freien als auch aus begrenzten Schwindungskonfigurationen zusammengesetzt sind, wird ein Vergleich zwischen begrenzter und freier Schwindung in Abb. 51 und 52 dargestellt. Abbildung 53 zeigt die Probekörper.

Abb. 53 Freie Schwindung gegenüber begrenzter Schwindung

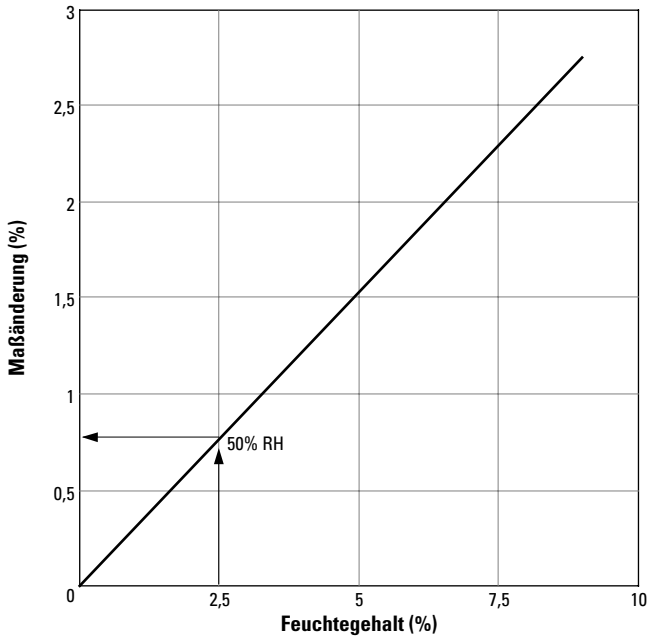


Die in Abb. 51 und 52 angegebenen Schwindungswerte gelten als Annäherungswerte zur Einschätzung der Formschwindung in den speziellen Richtungen. Aufgrund der Isotropie der Schwindung und dem Einfluß der oben erwähnten Faktoren, wird der Einsatz von Prototypenwerkzeugen empfohlen, um genauere Maßdaten für komplizierte Präzisionsteile zu erhalten.

8.2 Einfluß der Wasseraufnahme auf die Abmessungen

Ausgeformte Formteile aus ZYTEL® oder MINLON® weisen in der Regel einen relativ geringen Wassergehalt auf. Sobald sie ausgeworfen werden, beginnen sie langsam Wasser aus der Atmosphäre aufzunehmen, bis ein Gleichgewichtszustand erreicht wird. Dies hängt sowohl von der relativen Feuchtigkeit als auch dem ZYTEL®- oder MINLON®-Typ ab. Die Wasseraufnahme führt zu einer Erhöhung der Teileabmessungen, wie Abb. 54 zeigt.

Abb. 54 Maßänderung als Funktion des Feuchtegehaltes für ZYTEL® 101



Das Gleichgewicht der Wasseraufnahme hängt bei ZYTEL® oder MINLON® von dem verwendeten Typ ab, wie Tabelle 3 zeigt. Bei schlagzähmodifizierten Typen liegt das Gleichgewicht etwas niedriger, da die Schlagfestmacher gegen Wasser unempfindlich sind.

Tabelle 3 Wasseraufnahme von Polyamiden in Luft und Wasser

	Polyamide in Wasser bei 20° C	Aufnahme in Luft bei 50% r.L./23° C
6	8,5%	2,8%
66	7,5%	2,5%
6/66	7,5%	2,5%
6/12	3,0%	1,3%
6/10	3,0%	1,2%
Amorph.	5,8%	2,8%

Die für das Erreichen eines Gleichgewichtszustandes erforderliche Zeit hängt von der Wandstärke, der Umgebungsfeuchte und der Temperatur ab.

Abb. 55 zeigt die Wasseraufnahme von unverstärktem ZYTEL® basierend auf Polyamid 66 in Abhängigkeit der Zeit unter verschiedenen Umgebungsbedingungen für verschiedene Teiledicken. Die Zeit der Feuchteaufnahme einer 1 mm dicken Platte wird für unverstärktes ZYTEL® 101 und 135F in Abb. 56 angegeben. Die Maßänderungen durch Wasseraufnahme lassen sich durch Konditionierung beschleunigen.

Abb. 55 Feuchtegehalte als Funktion der Zeit für Formteile

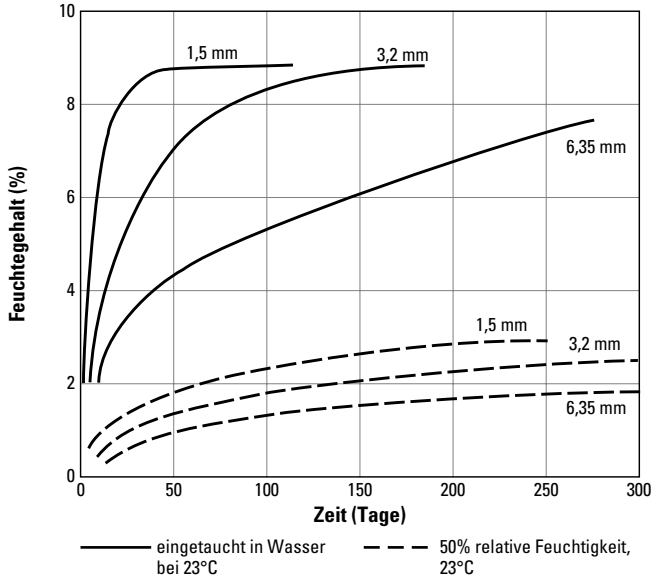
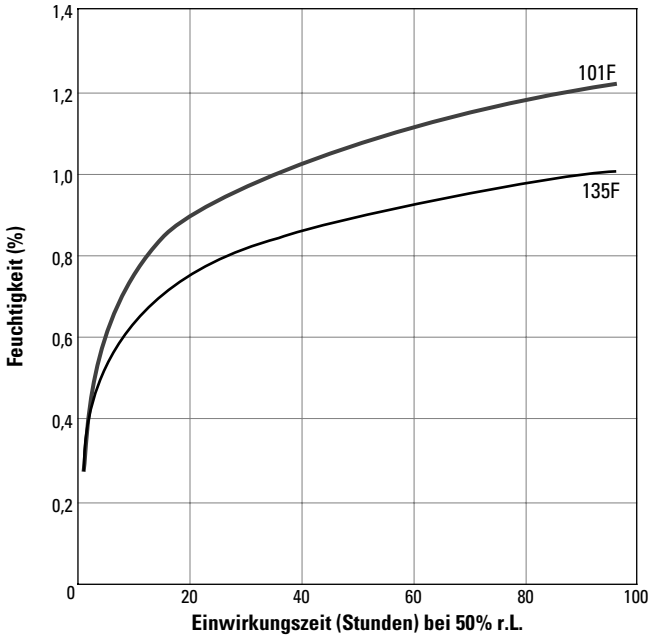


Abb. 56 Feuchteaufnahme einer 1 mm dicken Platte als Funktion der Zeit



Bei der Konditionierung von Formteilen, die unter normalen Umgebungsbedingungen eingesetzt werden sollen (50% r.L., 23°C), wird ein Wassergehalt von etwa 3% (Gewichtsprozent) empfohlen.

Die überschüssige Oberflächenfeuchtigkeit verdunstet schnell. Die Restfeuchte wird eventuell gleichmäßig verteilt und etwa 2,5% des Wassergehaltes werden bewahrt.

Konditionierverfahren werden ausführlich im Handbuch «Konstruktionshandbuch für Polyamide – Modul II» erörtert.

8.3 Nachschwindung und Tempern

Wie andere teilkristalline Kunststoffe sind Polyamide von DuPont einer Nachschwindung unterworfen. Dies beruht grundsätzlich auf einem Anstieg des Kristallisationsgrades, der über einen langen Zeitraum stattfindet.

Dünne Querschnitte weisen eine größere Nachschwindung auf als dicke Querschnitte.

Parallel zur Schwindung verursacht die Wasseraufnahme eine Ausdehnung. Somit werden die endgültigen Teileabmessungen von einer Kombination beider Faktoren beeinflußt.

In einem gut geformten Teil mit mittlerer Wandstärke ist die Ausdehnung durch Wasseraufnahme stärker als die Schwindung durch steigende Kristallinität. Auf der anderen Seite ist die durch Nachkristallisation bedingte Schwindung in einem Formteil höher, das bei zu niedrigen Werkzeugtemperaturen oder mit dünnen Querschnitten geformt wurde, als die Schwellung durch Wasseraufnahme.

8.4 Verzug

Verzug von Teilen aus glasfaserverstärkten Polyamiden wird durch eine ungleichmäßige Schwindung (anisotropische Schwindung) verursacht.

Diese kann beruhen auf:

Fließ-/Faserorientierung. Eine aufgrund der Faserorientierung unterschiedliche Schwindung in Fließrichtung – hier begrenzt die Faser die normale Kunststoffschwindung – und quer zur Fließrichtung (ähnliche Schwindungswerte wie bei unverstärktem Polyamid), führt zu einer anisotropischen Schwindung, die beim Abkühlen des Formteils die Verzugsneigung verrursachen kann. Die in Abb. 51 und 52 gezeigte Formschwindung ist in Fließrichtung immer niedriger als quer zur Fließrichtung.

Wandstärke des Teils. Soweit wie möglich sind Teile mit einer gleichmäßigen Wandstärke auszulegen. Dickwandige Teile sollten immer mit Kernen versehen werden, um die Schwindung auf ein Minimum zu reduzieren. Formteile mit komplexen Geometrien müssen unbegrenzt schwinden können. Rippen an Vorsprüngen sowie Kerne in dicken Querschnitten sollten immer für eine minimale lokale Verformung vorgesehen werden.

Werkzeugauslegung. Ein zentrales Anspritzen wird bei runden Teilen und ein Anspritzen an der gesamten Kante von dünnen rechteckigen oder quadratischen Formen (unter 1,5 mm Dicke) empfohlen. Für Formteile mit langen Fließlängen sollte der Anschnitt so positioniert werden, daß die Schmelze gegen einen Kern oder eine Wand strömt. Dies vermeidet eine Feistrahlbildung.

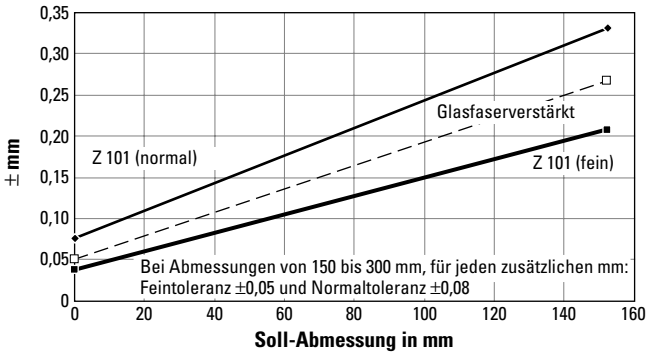
Eine ungleichmäßige Werkzeugtemperatur, lokale Überhitzung der Kerne oder das Fehlen eines Kühlkanals in einem Formhöhlungsabschnitt können unterschiedliche Kristallisationsgeschwindigkeiten und somit eine ungleichmäßige Schwindung verursachen.

8.5 Toleranzbereich von Formteilen

Die erreichbaren Toleranzen werden vom Material, der Formteilkonstruktion und den konstanten Verarbeitungsparametern bestimmt.

Erfahrungen haben gezeigt, daß mit unverstärkten Polyamiden bei günstiger Formteilauslegung, korrekter Angußpositonierung sowie stabilen und optimalen Verarbeitungsbedingungen folgende Toleranzen erreicht werden können (Abb. 57):

Abb. 57 Anleitung für die Toleranzen von ausgeformten Polyamiden



Diese Toleranzen machen keine Aussagen über die Alterungseigenschaften des Materials. Toleranzen basieren auf 3,0 mm Wandstärke.

Toleranzen für Formteile aus glasfaserverstärkten Polyamiden variieren entsprechend der Komplexität und der Teiledicke der Konstruktion. Obwohl die Formschwindung von glasfaserverstärkten Polyamiden beträchtlich geringer ist als bei unverstärkten Polyamiden, kann die Vorhersage der Maßhaltigkeit (siehe Kapitel 8.1) schwieriger sein. Dies hängt in hohem Maße von der Glasfaserorientierung im Formteil und den Verarbeitungsbedingungen ab. Formteiltoleranzen von glasfaserverstärkten Polyamiden sind meist ein Kompromiß zwischen Normal- und Feintoleranzen, wie sie vom Verband der Kunststoffindustrie für unverstärkte Polyamide festgelegt werden.

Weitere Informationen über technische Kunststoffe erhalten Sie von:

Belgique/België
Du Pont de Nemours (Belgium)
Antoon Spinoystraat 6
B-2800 Mechelen
Tel. (15) 44 14 11
Telex 22 554
Telefax (15) 44 14 09

Bulgaria
Du Pont Bulgaria
18, Tcherni Vrah Blvd.
Bldg. 2, Floor 5
BG-1407 Sofia
Tel. (2) 66 59 13/66 57 36
Telex 24 261 DUPONT BG
Telefax (2) 65 63 29/66 56 11

Česká Republika a Slovenská Republika
Du Pont - Conoco CS Spol. S.R.O.
Palác Kultury
5, Kvetna 65
CZ-14009 Praha 4
Tel. (02) 422 641 to 422 646
Telex 121 834 DUPO C
Telefax (02) 61 21 50 51

Danmark
Du Pont JET Danmark A/S
Roskildevej 163
DK-2620 Albertslund
Tel. 436 236 00
Telex 33 263 DENDUPONT
Telefax 436 236 17

Deutschland
Du Pont de Nemours
(Deutschland) GmbH
DuPont Straße 1
D-61343 Bad Homburg
Tel. (06172) 87 0
Telex 410 676 DPD D
Telefax (06172) 87 27 01

Egypt
Medgenco International Trade Co.
13, El Bostan Street
ET-Cairo
Tel. (02) 392 78 66
Telex 93 742 MK UN
Telefax (02) 392 84 87

España
Du Pont Ibérica S. A.
Edificio L'Illa
Avda. Diagonal 561
E-08029 Barcelona
Tel. (3) 227 60 00
Telefax (3) 227 62 00

France
Du Pont de Nemours (France) S.A.
137, rue de l'Université
F-75334 Paris Cedex 07
Tel. 01 45 50 65 50
Telex 206 772 dupon
Telefax 01 47 53 09 67

Hellas
Du Pont Agro Hellas S.A.
12, Solomou & Vas. Georgiou Street
GR-152 32 Halandri, Athina
Tel. (01) 680 16 14
Telefax (01) 680 16 11

Israël
Gadot
Chemical Terminals (1985) Ltd.
22, Shalom Aleichem Street
IL-633 43 Tel Aviv
Tel. (3) 528 62 62
Telex 33 744 GADOT IL
Telefax (3) 282 717

Italia
Du Pont de Nemours Italiana S.p.A.
Via Aosta 8
I-20063 Cernusco sul Naviglio (Mi)
Tel. (02) 25.302.1
Telefax (02) 92 107 845

Magyarország
Siehe Interowa unter Österreich

Maroc
Deborel Maroc S. A.
40, boulevard d'Anfa - 10°
MA-Casablanca
Tel. (2) 27 48 75
Telex 23 719 BOUKBEN
Telefax (2) 26 54 34

Norge
Nordic Polymers A/S
Niels Leuchsvei 99
N-1343 Eiksmarka
Tel. 67 14 28 70
Telefax 67 14 30 44

Österreich
Interowa
Fürer-Haimendorf KG
Bräuhausgasse 3-5
A-1050 Wien
Tel. (01) 512 35 71
Telex 112 993 IROWA A
Telefax (01) 512 35 71 12/
512 35 71 31

Polska
Du Pont Conoco Poland Sp.z o.o.
ul. Prosta 69
PL-00-838 Warszawa
Tel. (22) 635 04 01
Telefax (22) 691 09 00

Portugal
ACENYL
Rua do Campo Alegre, 672 - 1°
P-4100 Porto
Tel. (2) 69 24 25/69 26 64
Telex 23 136 MACOL
Telefax (2) 600 02 07

Romania
Siehe Interowa unter Österreich

Russia
E.I. du Pont de Nemours & Co. Inc.
Representative Office
B. Palashevsky Pereulok 13/2
SU-103 104 Moskva
Tel. (095) 956 38 50
Telex 413 778 DUMOS SU
Telefax (095) 956 38 53

Schweiz/Suisse/Svizzera
Dolder AG
Immengasse 9
Postfach 14695
CH-4004 Basel
Tel. (061) 326 66 00
Telex 962 306 DOL CH
Telefax (061) 326 62 04

Slovenija
Siehe Interowa unter Österreich

Suomi/Finland
Du Pont JET Oy
Piispankalliotie 17
P.O. Box 136
FIN-02201 Espoo
Tel. +358-9-75111 211
Telefax +358-9-75111 250

Sverige
Du Pont Conoco Nordic AB
Torshamnsgatan 35
S-164 86 Kista (Stockholm)
Tel. (08) 750 37 00
Telex 12 410 DUPONO S
Telefax (08) 750 90 41

Türkiye
Du Pont Products S.A.
Turkish Branch Office
Sakir Kesebir cad. Plaza 4
No 36/7, Balmumcu
TR-80700 Istanbul
Tel. (212) 275 33 83
Telex 26541 DPIS TR
Telefax (212) 211 66 38

Ukraine
Du Pont de Nemours
International S.A.
Representative Office
3, Glazunova Street
Kyiv 252042
Tel. (044) 294 9633/269 1302
Telefax (044) 269 1181

United Kingdom
Du Pont (U.K.) Limited
Maylands Avenue
GB-Hemel Hempstead
Herts. HP2 7DP
Tel. (01442) 34 65 00
Telefax (01442) 24 94 63

Argentina
Du Pont Argentina S.A.
Avda. Mitre y Calle 5
(1884) Berazategui-Bs.As.
Tel. (541) 319-4484/85/86
Telefax (541) 319-4417

Brasil
Du Pont do Brasil S.A.
Al. Itapecuru, 506 Alphaville
06454-080 Barueri-São Pãolo
Tel. (5511) 421-8468/8556

Asia Pacific
Du Pont Kabushiki Kaisha
Arco Tower, 14th Fl.
8-1, Shimomeguro 1-chome
Meguro-ku, Tokyo 153
Tel. (03) 5424 6100

South Africa
Plastamid
P.O. Box 59
Elsies River 59
Cape Town
Tel. 27 (21) 592 12 00
Telefax 27 (21) 592 14 09

USA
DuPont Engineering Polymers
Barley Mill Plaza, Building #22
P.O. Box 80022
Wilmington, Delaware 19880
Tel. (302) 892 0541
Telefax (302) 892 0737

Für Anfragen aus oben nicht angeführten Ländern, richten Sie sich bitte an:

Du Pont de Nemours International S.A.
2, chemin du Pavillon
CH-1218 Le Grand-Saconnex, Genf
Tel. (022) 717 51 11
Telex 415 777 DUP CH
Telefax (022) 717 52 00
Internet location:
http://www.dupont.com/

Diese Information entspricht unserem derzeitigen Kenntnisstand auf dem beschriebenen Gebiet und dient dazu, Ihnen möglichst hilfreiche Anregungen für Ihre eigenen Versuche, die sie jedoch nicht ersetzen kann, zu geben. Sie unterliegt der Überarbeitung, sobald sich neue Erkenntnisse oder Erfahrungen ergeben. DuPont übernimmt keine Gewähr, Haftung oder sonstige Verantwortung für Versuchs- oder Arbeitsergebnisse, die im Zusammenhang mit dieser Information erzielt werden. Diese Veröffentlichung begründet keine Lizenz und beabsichtigt nicht die Verletzung etwa bestehender gewerblicher Schutzrechte Dritter.
Achtung: Sollte nicht in medizinischen Anwendungen eingesetzt werden, welche permanent in den menschlichen Körper implantiert werden. Weitere Informationen erhalten Sie in unserem «Hinweis für medizinische Anwendungen», H-51459-2.

Starten Sie
mit
DuPont

01.98
H-53792-2
Gedruckt in der Schweiz
® Eingetragenes Warenzeichen von DuPont

Technische Kunststoffe

Technische Kunststoffe

Verarbeitungsdaten für MINLON® und ZYTEL® Polyamide

Starten Sie mit
technischen Kunststoffen
von DuPont

® Eingetragenes Warenzeichen von DuPont

Verarbeitungsdaten für ZYTEL®

Typ	Polymer	Anmerk.	Dichte in festem Zustand g/cm³	Schmelzedichte bei 0 MPa g/cm³	Empfohlene Schmelze-temperatur °C	Empfohlene Werkzeug-Oberflächen-temperatur °C	Schnecken-Umfangsge-schwindigkeit max. m/s	Geschwindigkeit der Fließfront mm/s	Nachdruck min. MPa	Nachdruck empf. MPa	Nachdruck max. MPa	Staudruck LMH	Nachdruckzeit <3 mm s/mm	Max. Schmelze-verweilzeit min.	Schwindung an gemessenen Prüfstäben in Fließ-richtung %	Schwindung an gemessenen Prüfstäben quer zur Fließ-richtung %	Max. Verarbeitungs-feuchtigkeit %	Trocknen bei °C	Trocknen Zeit h	Campus Dez. 94 Y/N
E101 L	PA66	L	1,14	0.95	295	70	0,4	300	50	85	100	L	4,0	15	1,2	1,2	0,2	80	2-4	Y
101 F	PA66	L	1,14	0,95	295	70	0,4	300	50	85	100	L	4,0	15	1,4	1,4	0,2	80	2-4	Y
102 F	PA66	L	1,14		290	70	0,4		50	85	100	L	4,0	15	1,4	1,4	0,2	80	2-4	Y
EFE1150	PA66	L	1,14		290	70	0,4		50	85	100	L	4,0	15	1,4	1,4	0,2	80	2-4	N
E103 HSL	PA66	H L	1,14	0,95	290	70	0,4	300	50	85	100	L	4,0	15	1,2	1,3	0,2	80	2-4	Y
105 F BK-10A	PA66	L	1,15		290	70	0,4	300	50	85	100	L	4,0	15	1,5		0,2	80	2-4	Y
122 L	PA66	L	1,14		290	70	0,4	300	50	85	100	L	4,0	15	1,4		0,2	80	2-4	Y
135 F	PA66	L	1,15	1,02	290	70	0,4	300	50	85	100	L	3,5	15	0,7	1,5	0,2	80	2-4	Y
7300	PA6	L	1,13		270	70	0,4	150	50	85	100	L	3,0	15	0,8		0,2	80	2-4	N
EFE1152	PA66	L	1,14		290	70	0,4	300	50	85	100	L	4,0	15	0,8	1,5	0,2	80	2-4	N
EFE1151	PA66	L	1,14		290	70	0,4	300	50	85	100	L	3,5	15	1,1	1,4	0,2	80	2-4	Y
7335 F	PA6	L	1,13		270	70	0,4	150	50	85	100	L	3,0	15	0,6		0,2	80	2-4	Y
151 L	PA6/12	L	1,06		250	70	0,3	300	50	85	100	L		15	1,3		0,2	80	2-4	Y
153 HSL	PA6/12	H L	1,06		250	70	0,3	300	50	85	100	L		15	1,3		0,2	80	2-4	Y
114 L BK-97	PA66	T	1,12	0,94	290	70	0,3		50	85	100	L	4,5	15	1,5		0,2	80	2-4	Y
408	PA66	T	1,09	0,95	290	70	0,3	150	50	85	100	L	4,5	10	1,5	1,6	0,2	80	2-4	Y
450	PA66	T	1,08	0,92	285	70	0,3	300	50	85	100	L	4,5	10	1,7		0,2	80	2-4	Y
490	PA66	T	1,09	0,92	285	70	0,3	300	50	85	100	L	4,5	10	1,5	1,5	0,2	80	2-4	Y
7300 T	PA6	T	1,10		275	70	0,3	150	50	85	100	L	3,0	15	1,0	1,0	0,2	80	2-4	N
ST801	PA66	ST	1,08	0,92	285	70	0,3	150	50	85	100	L	3,0	10	1,5	1,5	0,2	80	2-4	Y
ST7301	PA6	ST	1,07		250	70	0,3	150	50	85	100	L	3,0	15	2,1	2,2	0,2	80	2-4	N
70G20 HSL	PA66	G20 H L	1,29	1,12	295	110	0,15	150	50	85	100	L	2,5	15	0,5	1,2	0,2	80	2-4	Y
70G25 HSL	PA6	G25 H L	1,33		295	110	0,15	150	50	85	100	L	2,5	15	0,35	1,07	0,2	80	2-4	Y
70G30 HSL	PA66	G30 H L	1,37	1,20	295	110	0,15		50	85	100	L	2,5	15	0,3	1,1	0,2	80	2-4	Y
70G33 GRA	PA66	G33	1,45		295	110	0,15	150		85		L	2,5	15		1,1	0,2	80	2-4	N
70G30 PSR	PA66	G30			295	110	0,15	150		85		L	2,5	15			0,2	80	2-4	N
70G35 HSL	PA66	G35 H L	1,47	1,27	295	110	0,15		50	85	100	L	2,5	15	0,4	1,10	0,2	80	2-4	Y
70G35 HSL A4 BK-267	PA66	G35 H L	1,41		295	110	0,15	150	50	85	100	L	2,5	15	0,4	1	0,2	80	2-4	N

Verarbeitungsdaten für ZYTEL® (Fortsetzung)

Typ	Polymer	Anmerk.	Dichte in festem Zustand g/cm³	Schmelzedichte bei 0 MPa g/cm³	Empfohlene Schmelze-temperatur °C	Empfohlene Werkzeug-Oberflächen-temperatur °C	Schnecken-Umfangsge-schcwindigkeit max. m/s	Geschwindigkeit der Fließfront mm/s	Nachdruck min. MPa	Nachdruck empf. MPa	Nachdruck max. MPa	Staudruck LMH	Nachdruckzeit <3 mm s/mm	Max. Schmelze-verweilzeit min.	Schwindung an gemessenen Prüfstäben in Fließ-richtung %	Schwindung an gemessenen Prüfstäben quer zur Fließ-richtung %	Max. Verarbeitungs-feuchtigkeit %	Trocknen bei °C	Trocknen Zeit h	Campus Dez. 94 Y/N
70G43 L	PA66	G43 L	1,49	1,28	295	110	0,15	150	50	85	100	L	2,5	15	0,3	0,8	0,2	80	2-4	Y
70G50 HSL	PA66	G50 H L	1,57		295	110	0,15	150	50	85	100	L	2,5	15	0,3	0,7	0,2	80	2-4	Y
70G60	PA66	G60	1,7		300	110	0,15	Fast	50	85	100	L	2,5	15	0,4	0,6	0,2	80	2-4	N
73G15	PA6	G15	1,23		270	85	0,3	300	50	85	100	L	3,0	15	0,3	1,1	0,2	80	2-4	Y
73G20	PA6	G20	1,27		270	85	0,3	300	50	85	100	L	3,0	15	0,25	1,1	0,2	80	2-4	Y
73G25	PA6	G25	1,31		270	85	0,3	300	50	85	100	L	3,0	15	0,20	1,0	0,2	80	2-4	Y
73G30	PA6	G30	1,36		270	85	0,3	300	50	85	100	L	3,0	15	0,20	1,0	0,2	80	2-4	Y
73G30 W	PA6	G30			270	85	0,3	300	50	85	100	L	3,0	15	0,20	1,0	0,2	80	2-4	N
73G35	PA6	G35	1,42		270	85	0,3	300	50	85	100	L	3,0	15	0,18	1,0	0,2	80	2-4	Y
73G40	PA6	G40	1,46		270	85	0,3	300	50	85	100	L	3,0	15	0,17		0,2	80	2-4	N
73G45	PA6	G45	1,51		270	85	0,3	300	50	85	100	L	3,0	15	0,15	0,9	0,2	80	2-4	Y
73G50	PA6	G50	1,56		270	85	0,3	300	50	85	100	L	3,0	15	0,10	0,9	0,2	80	2-4	Y
70G30 HSLR	PA66	G30 H L	1,37		295	110	0,15	150	50	85	100	L	2,5	15	0,40	1,1	0,2	80	2-4	N
70G35 HSLX	PA66	G35 H L	1,41		295	110	0,15	150	50	85	100	L	2,5	15	0,40	1,0	0,2	80	2-4	N
70GB40 HSL	PA66	GB40 H L	1,46		295	110	0,15	Fast	50	85	100	L	2,5	15	1,2	1,2	0,2	80	2-4	Y
72G15 L	PA66/6[1]	G15 L	1,23		280	90	0,15	300	50	85	100	L	2,5	15		0,30	0,2	80	2-4	N
72G30 L	PA66/6[1]	G30 L	1,37		280	90	0,15	150	50	85	100	L	2,5	15	0,20		0,2	80	2-4	N
74G20 HSL	PA66/6[2]	G20 L	1,30		290	90	0,30	300	50	85	100	L	2,5	10	0,30		0,2	80	2-4	N
74G30 L	PA66/6[2]	G30 L	1,40		290	90	0,30	300	50	85	100	L	2,5	10	0,18		0,2	80	2-4	N
74G30 W	PA66/6[2]	G30			290	90	0,30	300	50	85	100	L	2,5	10			0,2	80	2-4	N
77G33 L	PA6/12	GS33 L	1,32		290	80	0,15	150	50	85	100	L	2,5	15	0,2	0,9	0,2	80	2-4	Y
77G43 L	PA6/12	G43 L	1,46		290	80	0,15	150	50	85	100	L	2,5	15	0,1	0,8	0,2	80	2-4	N
79G13	PA66	G13 T L	1,21		295	60	0,30	150	50	85	100	L	2,5	15	0,5	1,2	0,2	80	2-4	Y
80G14	PA66	G14 T	1,25		295	70	0,15	150	50	85	100	L	2,5	10	0,6	1,2	0,2	80	2-4	Y
80G25	PA66	G25 T	1,26		295	70	0,15	150	50	85	100	L	2,5	10	0,35		0,2	80	2-4	N
80G33 HS1L	PA66	G33 T H L	1,34		295	70	0,15	150	50	85	100	M	2,5	12	0,3	1,1	0,2	80	2-4	Y
80G43 HS1L	PA66	G43 ST H			295	70	0,15	150	50	85	100	M	2,5	10			0,2	80	2-4	N
73G15 T	PA6	G15 T	1,19		270	85	0,30	300	50	85	100	L	3,0	15	0,3	0,9	0,2	80	2-4	N
73G30 T	PA6	G30 T	1,34		270	85	0,30	300	50	85	100	L	3,0	15	0,2	1,0	0,2	80	2-4	Y
FR7200 V0F	PA66/6[1]	FR	1,18		280	70		150	50	85	100	L	3,0	10			0,2	80	2-4	N
FR70G20 V1	PA66	FRG20	1,56		270	110	0,15	150	50	85	100	L	2,5	10	0,4	0,8	0,2	80	2-4	N
FR70G25 V0	PA66	G25	1,49		280	110	0,15	150	50	85	100	L	2,5	10	0,4	0,8	0,2	80	2-4	N

[1] Copolymer [2] Mischung

Verarbeitungsdaten für ZYTEL® (Fortsetzung)

Typ	Polymer	Anmerk.	Dichte in festem Zustand g/cm³	Schmelzedichte bei 0 MPa g/cm³	Empfohlene Schmelze-temperatur °C	Empfohlene Werkzeug-Oberflächen-temperatur °C	Schnecken-Umfangsge-schwindigkeit max. m/s	Geschwindigkeit der Fließfront mm/s	Nachdruck min. MPa	Nachdruck empf. MPa	Nachdruck max. MPa	Staudruck LMH	Nachdruckzeit <3 mm s/mm	Max. Schmelze-verweilzeit min.	Schwindung an gemessenen Prüfstäben in Fließ-richtung %	Schwindung an gemessenen Prüfstäben quer zur Fließ-richtung %	Max. Verarbeitungs-feuchtigkeit %	Trocknen bei °C	Trocknen Zeit h	Campus Dez. 94 Y/N
FR73M20 GWF	PA6	M20			270	85	0,20	150	50	85	100	L	2,5	10			0,2	80	2-4	N
FR70M30 V0	PA66	M30 V0	1,62		270	90	0,15	150	50	85	100	L	2,5	10	0,9		0,2	80	2-4	Y
FR72G25 V0	PA66/6	FR G25	1,18		270	90	0,15	150	50	85	100	L	2,5	10	0,6	1	0,2	80	2-4	Y
FR72G25 V1	PA66/6	FR G25	1,44		270	110	0,15	150	50	85	100	L	2,5	10			0,2	80	2-4	Y
E40	PA66	HV	1,14		290	70	0,30	150	50	85	100	L	4,0	15	1,8	2,2	0,15	80	2-4	N
E41 HS	PA66	HV	1,14		290	70	0,30	150	50	85	100	L	4,0	15			0,15	80	2-4	N
E42A	PA66	HV	1,14		290	70	0,30	150	50	85	100	L	4,0	15			0,15	80	2-4	N
E50	PA66	HV	1,14		290	70	0,30	150	50	85	100	L	4,0	15	1,9	2,2	0,15	80	2-4	Y
E51 HS	PA66	HV	1,14		290	70	0,30	150	50	85	100	L	4,0	15	1,9	2,2	0,15	80	2-4	N
E53	PA66	UHV Extr.	1,14		290	70	0,30	150	50	85	100	L	4,0	15	1,9	2,2	0,15	80	2-4	N
158	PA6/12	HV	1,06		250	70	0,30	300	50	85	100	L		15	1,1		0,2	80	2-4	Y
330	PA6I/6T	Amorph.	1,18		300	85	0,20	150				L		10	0,5	0,5	0,1	80	6-10	N
FN 714	PA66	fl. alloy	1,02		285	60	0,30		50	85	100	L	4,0	10			0,15	80	4	N
FN 718	PA66	fl. alloy	1,03		285	60	0,30		50	85	100	L	4,0	10			0,15	80	4	N
FN 727	PA6	fl. alloy	1,01		270	65	0,30		50	85	100	L	4,0	10			0,15	80	4	N
ZYTEL-KEVLAR® SFC																				
70K20 HSL	PA66	K20 H L	1,19		290	110	0,15	150	50	85	100	L	2,5	15	0,8	1,4	0,2	80	2-4	N
70K20 HSL	PA66	K20 H L	1,19		290	110	0,15	150	50	85	100	L	2,5	15	0,8	1,3	0,2	80	2-4	N

FR = Flammwidrig
G = Glasfaserverstärkt
GB = Glaskugelverstärkt
H = Hitzestabilisiert
HV = Hochviskos
K = KEVLAR® verstärkt
L = Geschmiert
M = Mineralverstärkt
ST = Hochschlagzäh
T = Schlagzäh
UHV = Ultrahochviskos
UV = UV stabilisiert

Verarbeitungsdaten für MINLON®

Typ	Material	Anmerk.	Dichte in festem Zustand g/cm³	Schmelzedichte bei 0 MPa g/cm³	Empfohlene Schmelze-temperatur °C	Empfohlene Werkzeug-Oberflächen-temperatur °C	Schnecken-Umfangsge-schwindigkeit max. m/s	Geschwindigkeit der Fließfront mm/s	Nachdruck min. MPa	Nachdruck empf. MPa	Nachdruck max. MPa	Staudruck LMH	Nachdruckzeit <3 mm s/mm	Max. Schmelze-verweilzeit min.	Schwindung an gemessenen Prüfstäben in Fließ-richtung %	Schwindung an gemessenen Prüfstäben quer zur Fließ-richtung %	Max. Verarbeitungs-feuchtigkeit %	Trocknen bei °C	Trocknen Zeit h	Campus Dez. 94 Y/N
10B140	PA66	M40	1,50	1,28	295	100	0,15	100	40	70	100	L	3,0	12	1	1	0,2	80	2-4	Y
11C140	PA66	M40 T	1,46	1,27	295	100	0,15	100	40	70	100	L	3,0	12	1,4	1,4	0,2	80	2-4	Y
13T2	PA66	M30 T	1,36	1,18	295	100	0,15	100	40	70	100	L	3,0	12	1,4	1,6	0,2	80	2-4	Y
13MM	PA66	M16 T	1,24		295	100	0,15	100	40	70	100	L	3,0	8	1,5		0,2	80	2-4	N
14D1	PA66	M26 T	1,35		295	100	0,15	100	40	70	100	L	3,0	12	1,4		0,2	80	2-4	Y
73M20	PA6	M20	1,27		270	85	0,20	100	40	70	100	L	3,0	12	0,9	0,9	0,2	80	2-4	Y
73M30	PA6	M30	1,35		270	85	0,20	100	40	70	100	L	3,0	12	0,9	0,9	0,2	80	2-4	Y
73M40	PA6	M40	1,46		270	85	0,20	100	40	70	100	L	3,0	12	0,8	0,8	0,2	80	2-4	N
21B1	PA66	M34G5	1,47		295	100	0,15	100	40	70	100	L	3,0	12	0,6	1,4	0,2	80	2-4	Y
23B1	PA66	MM28G9	1,46		295	100	0,15	100	40	70	100	L	3,0	12	0,6	1,4	0,2	80	2-4	Y
EFE6053	PA66	M16G24	1,47	1,25	295	100	0,15	100	40	70	100	L	3,0	12	0,4		0,2	80	2-4	Y
73GM30 T	PA6	M20G10	1,35		260	85	0,15	100	40	70	100	L	3,0	12	0,7	1,1	0,2	80	2-4	Y
73GM30 HSL	PA6	G10M20 H L	1,38		270	85	0,15	100	40	70	100	L	3,0	12	0,5	0,8	0,2	80	2-4	Y
73GM40	PA6	M25G15	1,46		270	85	0,15	100	40	70	100	L	3,0	12	0,6	1,0	0,2	80	2-4	N

[1] Copolymer [2] Mischung