

## Rohrextrusion

Grilamid (PA 12) und Grilon (PA 6) sind thermoplastische Werkstoffe, die für die wirtschaftliche Herstellung von Rohren mit herkömmlichen Extrudern besonders geeignet sind.

Die Eigenschaften und Anwendungen unserer Werkstoffe sind in produktspezifischen technischen Datenblättern definiert. Bitte lesen Sie diese technischen Datenblätter und nehmen Sie gegebenenfalls mit unseren Anwendungstechnikern Kontakt auf, bevor Sie ein Produkt für eine spezifische Anwendung einsetzen.

Dieses technische Datenblatt beschreibt das Prozedere für die Verarbeitung von Grilamid und Grilon.

---

# Inhalt

---

1. Allgemeines	Seite 3
2. Rohstoffe	Seite 4
3. Extrusion	Seite 10
4. Formgebung	Seite 15
5. Kalibrierung	Seite 18
6. Dimensionskontrolle	Seite 20
7. Bedrucken von Rohren	Seite 20
8. Thermoformen von Rohren	Seite 21

---

---

# 1. Allgemeines

Die Extrusion von Rohren und Schläuchen aus mittel- und hochviskosen Polyamid-Typen wird schon seit langem praktiziert.

Durch die konsequente Weiterentwicklung von Kunststoffverarbeitungs-Maschinen konnten die Extrusionsgeschwindigkeiten erheblich erhöht werden. Es ist heute keine Seltenheit, dass PA-Röhrchen mit Geschwindigkeiten bis zu 80 m/Min. extrudiert werden. Die nach den einschlägigen Normen verlangten Toleranzen sind dabei auch einzuhalten.

Die Extrusion mit hohen Geschwindigkeiten stellt neben hochentwickelten Extrusionsmaschinen auch ganz besondere Anforderungen an die Extrusionsformmassen: Sie müssen

- sauber und in sich homogen sein
- sich mit geringem Widerstand und stabil durch die Düsen pressen lassen
- hohe Schmelzefestigkeit aufweisen
- aus Granulat mit gleichbleibender Konformität und Schüttgewicht bestehen
- die Übertragbarkeit der guten mechanischen Eigenschaften auf Rohre gewährleisten.

PA-Rohre werden in grossen Mengen in der Automobilindustrie für Kraftstoffleitungen, Kupplungshydraulik, Unterdruckleitungen und Schmierstoffleitungen eingesetzt.

In LKWs erfüllen sie die hohen Anforderungen für Druckluftbremsleitungen.

Aufgrund niedriger Permeabilität gegen Fluorkohlenwasserstoffe werden einzelne Typen als Innenrohre für Druckschläuche in Klimaanlage eingesetzt.

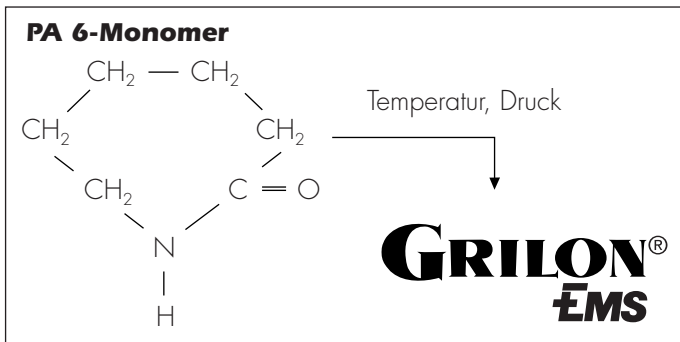
In der Industrie werden PA-Rohre als Monorohr oder in verstärkter Ausführung für Druckluftbremsleitungen, Getränkeleitungen, Versorgungsleitungen für die Off-shore-Erdöltechnik sowie Hydraulikleitungen eingesetzt.

## 2. Rohstoffe

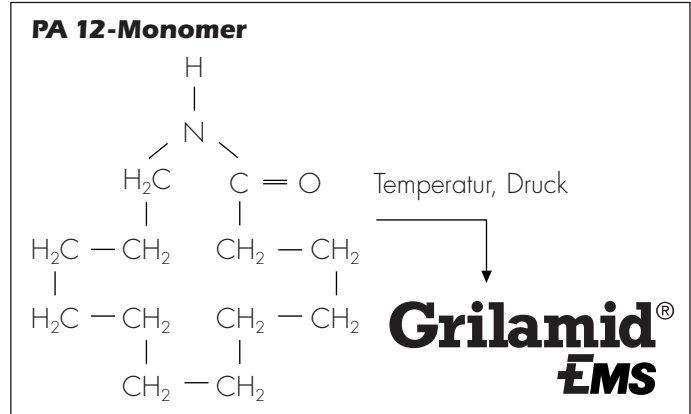
### 2.1 Herstellung der Polyamide

Folgende Reaktionen werden bevorzugt:

- Polykondensation von  $\omega$ -Aminocarbonsäuren
- Polykondensation von Diaminen mit Dicarbonsäuren
- Polykondensation des Salzes aus einem Diamin und einer Dicarbonsäure
- Ringöffnende Polykondensation von Laktamen



Caprolaktam



Laurinlaktam

Je nach eingesetzten Monomeren (= Ausgangstoffen) erhält man verschiedene Polyamide mit jeweils spezifischen Eigenschaften. Werden Mischungen von polyamidbildenden Monomeren als Monomere eingesetzt, erhält man Copolyamide (CoPa).

### 2.2 EMS-Extrusionsformmassen für den Rohr- und Schlauchsektor (Tabelle 1)

Tabelle 1

Bezeichnung	Typ und Eigenschaft	Anwendung
Grilamid L25 W40 X	PA 12 flexibel, kälteschlagzäh	Kraftstoffleitungen, Vakuumdruckleitungen, Schmierstoffleitungen (DIN 73378) für die KFZ-Industrie, Innenrohre und Ausenmantel für Hydraulikschläuche. Druckluftbremsleitungen für LKW (SAE J 844 d, DIN 74324, ISO 7628)
Grilamid L25 W40 NZ	PA 12 flexibel, kälteschlagzäh	Off-shore-Technik, Versorgungsleitungen und Druckschläuche für die Erdölförderungen
Grilamid L25 W20 X	PA 12 halbflexibel, kälteschlagzäh	Kraftstoffleitungen, Vakuumdruckleitungen, Schmierstoffleitungen (DIN 73378) für die KFZ-Industrie, Innenrohre und Ausenmantel für Hydraulikschläuche. Druckluftbremsleitungen für LKW (SAE J 844 d, DIN 74324, NF R 12-632-2)
Grilamid L25	PA 12 hart	Getränkeleitungen (heiss sterilisierbar), Förderleitungen, Vakuumdruckleitungen, Kraftstoffleitungen
Grilamid L25 schwarz 9122	PA 12 hart	Leistungen für Kupplungshydraulik, Schmierstoffleitungen, Kraftstoffleitungen (DIN 73378)
Grilamid L20 LF grau	PA 12 mit Graphit modifiziert	Bowdenzüge
Grilamid L25 W40 natur 6428	PA 12 flexibel	Pneumatikleitungen
Grilamid DS 25 LF grau	PA 12-Legierung, mit graphit modifiziert, formbeständig wegen tiefem thermischen Ausdehnungskoeffizient	Bowdenzüge mit tiefem Reibungskoeffizient
Grilamid ELY 60	PA 12 Elastomer, weichmacherfrei	Pneumatikleitungen
Grilamid TR 55	PA 12-CoPa, transparent, amorph, sehr steif	Getränkeleitungen (heiss sterilisierbar)
Grilon F50	PA 6 hart	Vakuumleitungen für Zentralverriegelung, Kraftstofftankentlüftungen, Pneumatikindustrie (nach DIN 73378)

Bezeichnung	Typ und Eigenschaft	Anwendung
Grilon R47 HW NZ	PA 6 flexibel, kälteschlagzäh	Pneumatikschläuche, Innenrohre für Hochdruckfarbspritzanlagen, Vakuumleitungen
Grilon R47 HW	PA 6 flexibel, schlagzäh	Innenrohr für Hochdruckfarbspritzanlagen, Innenschicht für Coexbenzinleitungen, Schlauchdornen
Grilon A28 NZ	PA 6 halbflexibel, kälteschlagzäh	Pneumatikleitungen, Wasserschläuche für Heckscheibenwaschanlage von Kraftfahrzeugen, Innenrohr für Kühlmittelleitungen
Grilon A28 VO	PA 6 hart, selbstverlöschend	Wellrohr für Kabelführung in der Elektronikindustrie
Grilon ELX23 NZ	PA 6 Elastomer, kälteschlagzäh, weichmacherfrei	Pneumatik, Innenrohr für Hydraulikschläuche

## 2.3 Viskosität

### 2.3.1 Relative Viskosität

Die Bestimmung des Molekulargewichts makromolekularer Substanzen erfolgt meistens nicht im Sinne einer absoluten Viskositätsbestimmung, sondern als relativer Viskositätsvergleich zwischen einer verdünnten makromolekularen Lösung und dem reinen Lösungsmittel wie z.B. Schwefelsäure, Ameisensäure oder m-Kresol.

Nach Oswald gilt:

$$\eta_{\text{rel}} = \frac{t_1 \cdot S_1}{t_2 \cdot S_2}$$

Ist  $C < 0,5 \text{ g}/100 \text{ ml}$ , so gilt  $S_1 = S_2$  und daraus folgt:

$$\eta_{\text{rel}} = \frac{t_1}{t_2}$$

Diese Messung wird nach DIN 51562 mit dem Ubbelohde-Viskosimeter durchgeführt. Die gemessenen Ergebnisse sind von Art und Konzentration der Lösungsmittel abhängig.

Häufig wird die Viskositätszahl angegeben, welche wie folgt berechnet wird.

$$v_n = (\eta_{\text{rel}} - 1) \cdot \frac{1}{C}$$

Die intrinsische Viskosität:

$$[\eta] = \lim_{\substack{C \rightarrow 0 \\ \dot{\gamma} \rightarrow 0}} v_n$$

Durch die Mark-Houwink-Relation kann die Grenzviskosität (oder Staudinger Index) in einen Bezug zum Molekulargewicht geben werden.

$$[\eta] = KM^a$$

$\eta_{\text{rel}}$  = relative Viskosität  
 $t_1$  = Durchflusszeit der Lösung [s]  
 $t_2$  = Durchflusszeit des Lösungsmittels [s]  
 $S_1$  = Dichte der Lösung [g/cm<sup>3</sup>]  
 $S_2$  = Dichte des Lösungsmittels [g/cm<sup>3</sup>]  
 $C$  = Konzentration des gelösten Polyamides [g/cm<sup>3</sup>]  
 $V_n$  = Viskositätszahl [cm<sup>3</sup>/g]  
 $[\eta]$  = Grenzviskosität [cm<sup>3</sup>/g]  
 $\dot{\gamma}$  = Schergeschwindigkeit [s<sup>-1</sup>]  
 $K, a$  = Konstante der Mark-Houwink-Gleichung

### 2.3.2 Volumenflussrate (MVR) und Schmelzindex (MFR)

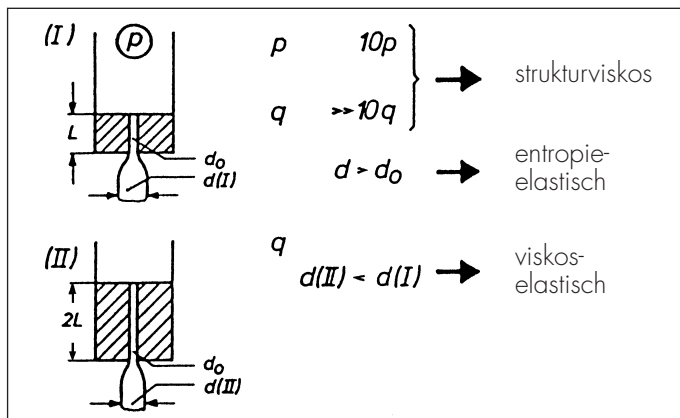
Die Bestimmung der Volumenflussrate resp. des Schmelzindex nach ISO 1133 dient der Beurteilung des Fließverhaltens von Thermoplasten unter bestimmten Temperatur- und Druckbedingungen. Die gemessenen Werte geben das Volumen resp. die Masse der Polymer-Schmelze an, die unter festgelegten Bedingungen in einer bestimmten Zeit (normalerweise 10 Minuten) durch eine normierte Düse gedrückt werden. Die Temperatur und der Druck werden gemäss den Empfehlungen der Produktnorm ausgewählt.

MVR und MFR sind stark vom Feuchtegehalt der Materialien abhängig. Bereits kleine Feuchteanteile bewirken eine Erniedrigung der Viskosität, d.h. eine Erhöhung von MVR und MFR. Nichtsdestoweniger stellen beide Grössen ein Mass für die Verarbeitbarkeit eines Thermoplasten dar. Deshalb bestimmt die Qualitätskontrolle der EMS-GRIVORY den MVR (der heute einfacher zu messen ist als der MFR) aller compoundierten Polyamide (Feuchtegehalt in der Regel  $\leq 0,1 \%$ ) und führt ihn auf den Abnahmeprüfzeugnissen nach EN 10204/DIN 50049.3.1.B auf.

### 2.3.3 Rheologie von Polymerschmelzen/ Viskositätsfunktionen

Gemäss der Definition von E.C. Bingham ist die Rheologie die Wissenschaft des Fließens und der Deformation der Materie. Für Polymer-Schmelzen besitzen die Modelle, die in der Mechanik (Hooke'scher Festkörper, charakterisiert durch 2 Materialkonstanten, wie Zug-E-Modul und Schubmodul) oder in der Hydrodynamik (Newton'sche Flüssigkeit, charakterisiert durch eine einzige Materialkonstante, die Viskosität) keine Gültigkeit mehr. Die besonderen Merkmale des rheologischen Verhaltens von Polymer-Schmelzen sind bereits bei der Extrusion aus einer Düse ersichtlich:

Abb. 1: Extrusion einer Polymer-Schmelze aus einer Düse (gemäss J. Meisser: «Polymer melt rheology – a challenge for the polymer scientist and engineer» (Pure and Applied Chemistry Vol. 56, Nr. 3, pp 369–384).



In Abb. 1 weist die mit einem Druck  $p$  durch die Düse (I) extrudierte Schmelze einen Durchsatz  $q$  auf. Bei 10fachem Druck nimmt der Durchsatz überproportional zu. Hieraus ergibt sich, dass die Viskosität mit zunehmender mechanischer Beanspruchung der Schmelze abnimmt: Polymer-Schmelzen sind strukturviskose Flüssigkeiten.

Das Extrudat kann einen viel grösseren Durchmesser haben als der Düsendurchmesser  $d_0$ . Das Phänomen ist unter dem Namen Strangaufweitung bekannt: Die Moleküle werden durch den Fließprozess innerhalb der Düse orientiert. Dieser Vorgang entspricht einer gummiartigen, elastischen Deformation, die sich zurückbildet, sobald ausserhalb der Düse die wirkenden Kräfte entfallen. Polymer-Schmelzen sind somit ebenfalls gummiartig-elastische oder entropie-elastische Flüssigkeiten. Der Extrudatdurchmesser aus Düse (II) mit Länge  $2L$  ist kleiner als der Extrudatdurchmesser aus Düse (I) mit Länge  $L$ : Die Kopplung von viskosen und elastischen Vorgängen ist zeitabhängig. Deshalb sind Polymer-Schmelzen viskoelastische Flüssigkeiten.

Das zeit- und deformationsgeschwindigkeitsabhängige Verhalten von Polymer-Schmelzen kann in Scher- oder Dehnrheometern bestimmt werden. Scherrheometer sind Kegel/Platten- oder Sandwichrheometer. Dehnungsrheometer arbeiten entweder mit konventionellen Klemmen (wie Zugmaschinen) oder rotierenden Klemmen (welche in entgegengesetzte Richtungen rotieren und das Material aus einer zentralen Messzone herausfördern). Die Schmelzen werden mit konstanter Schergeschwindigkeit  $\dot{\gamma}$  oder konstanter Dehngeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}$  beansprucht:

$$\dot{\gamma} = \frac{d}{dt} \tan \alpha$$

$$\dot{\epsilon} = \frac{d}{dt} \ln \frac{L(t)}{L_0}$$

$$\alpha = \text{Schervinkel des gescherten Materials}$$

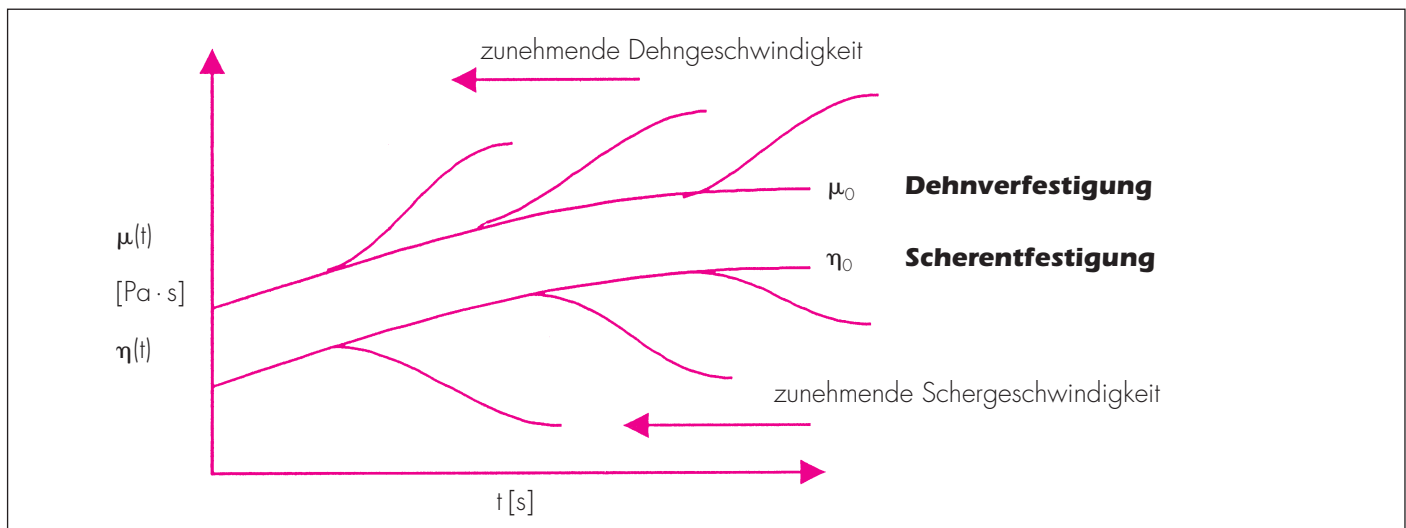
$$L(t) \text{ resp. } L_0 = \text{momentane resp. ursprüngliche Länge des gedehnten Materials}$$

$$\frac{d}{dt} = \text{zeitabhängige Ableitung (= Änderung) der entsprechenden Grösse}$$

Die resultierenden Materialparameter sind die Scherviskosität  $\eta$  und die Dehnaviskosität  $\mu$ , welche dem Verhältnis von gemessener Spannung zu Scher- resp. Dehngeschwindigkeit entsprechen.

Die in der Literatur aufgeführten Untersuchungen weisen auf unterschiedliches Verhalten in Scherung resp. Dehnung hin: Man spricht von Scherentfestigung resp. Dehnverfestigung (Abb. 2).

Abb. 2: Scherentfestigung und Dehnverfestigung einer Polymer-Schmelze



Bei sehr niedrigen Scher- resp. Dehngeschwindigkeiten sind die Viskositäten unabhängig von der Deformationsgeschwindigkeit. Die Kurven münden in einen konstanten Wert, der Nullviskosität genannt wird:

Schernullviskosität: 
$$\eta_0 = \lim_{\substack{t \rightarrow \infty \\ \dot{\gamma} \rightarrow 0}} \eta(t, \dot{\gamma})$$

Dehnullviskosität: 
$$\mu_0 = \lim_{\substack{t \rightarrow \infty \\ \dot{\epsilon} \rightarrow 0}} \mu(t, \dot{\epsilon})$$

Gemäss dem Trouton'schen Gesetz ergibt sich ein direkter Zusammenhang zwischen den beiden Nullviskositäten:

$$\mu_0 = 3 \eta_0$$

Die Nullviskosität hängt vom Molekulargewicht des untersuchten Polymers ab:

$$\begin{aligned} \eta_0 &\sim M && (\text{for } M < M_c) \\ \eta_0 &\sim M^{3.4} && (\text{for } M > M_c) \end{aligned}$$

$M_c$  ist das kritische Molekulargewicht.

Die Abhängigkeit der Scherviskosität von der Schergeschwindigkeit (aber nicht von der Zeit) und von der molekularen Struktur kann auch auf einfache Art und Weise in einem Kapillarrheometer ermittelt werden. Zu diesem Zweck wird die zu prüfende Substanz in einem Kanal aufgeheizt. Nachdem das Polymer aufgeschmolzen und das Temperaturgleichgewicht erreicht ist, wird die Substanz mit konstanter Schergeschwindigkeit durch eine kreisförmige oder viereckige Düse extrudiert. Durch Messungen bei verschiedenen Schergeschwindigkeiten wird eine Kurve bestimmt, die Viskositätsfunktion heisst. Die Werte sind scheinbare Viskositäten und scheinbare Schergeschwindigkeiten. Sie werden gemäss den Gleichungen von Bagley und Rabinowitsch-Weissenburg «korrigiert». Die Bagley-Korrektur ist nur für kreisförmige Düsen erforderlich. Hier werden zusätzliche Messungen mit Düsen verschiedener Länge oder mit der fiktiven Düse der Länge Null durchgeführt.

Der Grund liegt darin, dass nur ein Teil des vor der Düse bestimmten Extrusionsdruckes für das viskose Fliessen innerhalb der Düse verwendet wird. Ein (mitunter grösserer) Rest wird für den Druckverlust in der Einlaufzone vor der Düse und für die elastische Deformationsenergie verbraucht, die bei elastischen Flüssigkeiten mit der Flüssigkeit selbst durch die Düse extrudiert wird und dort die Strangaufweitung verursacht.

Abb. 3: Darstellung Konst. + log  $\eta_0$  vs Konstant + log M für Polyamid und Polyethylen. Die 2 Konstanten sind für jedes Polymer verschieden. Für jedes Polymer entsprechen die Steigungen der linken und der rechten Geraden jeweils 1 resp. 3.4.

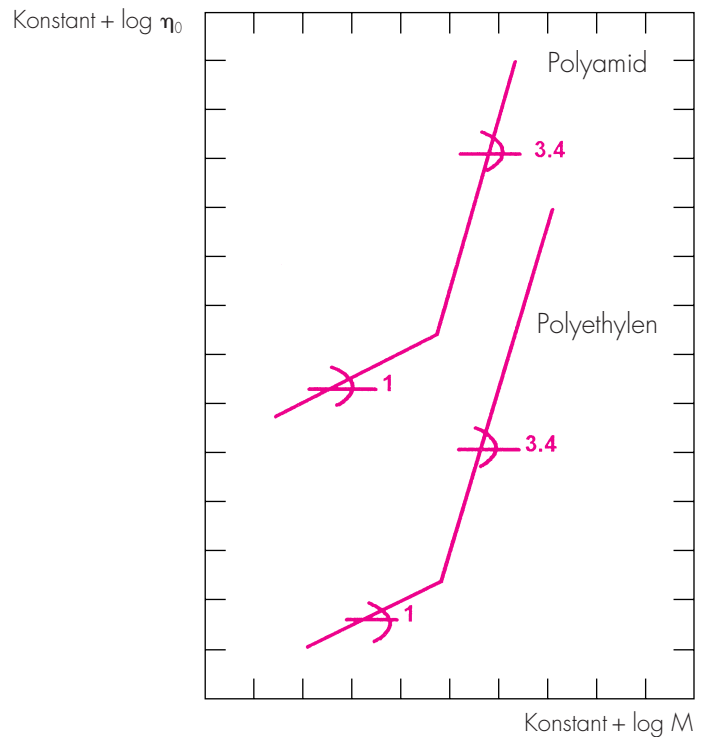


Abb. 4: Viskositätsfunktionen von Grilamid L25, Grilamid ELY 60 und Grilamid L25 W40 NZ bei 230°C

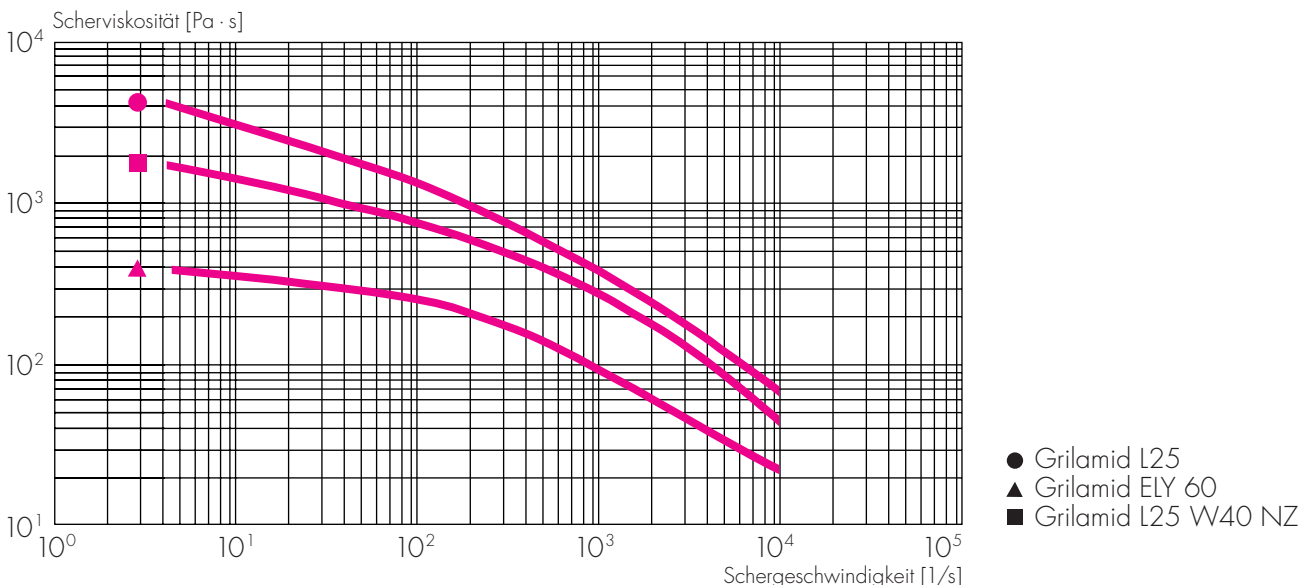
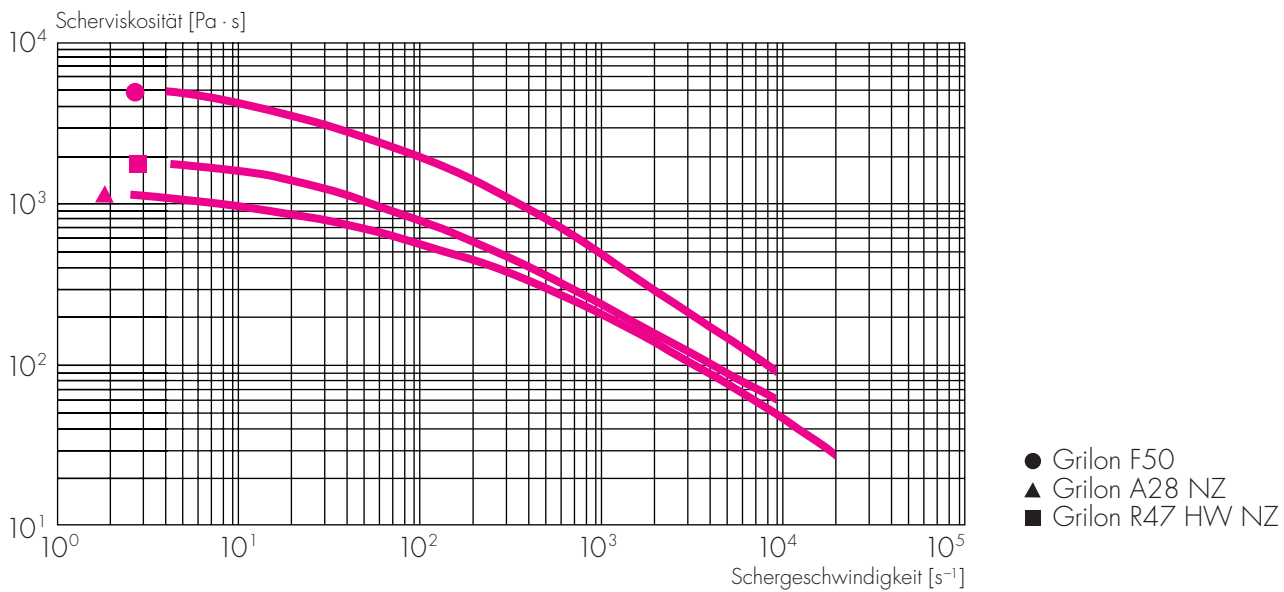
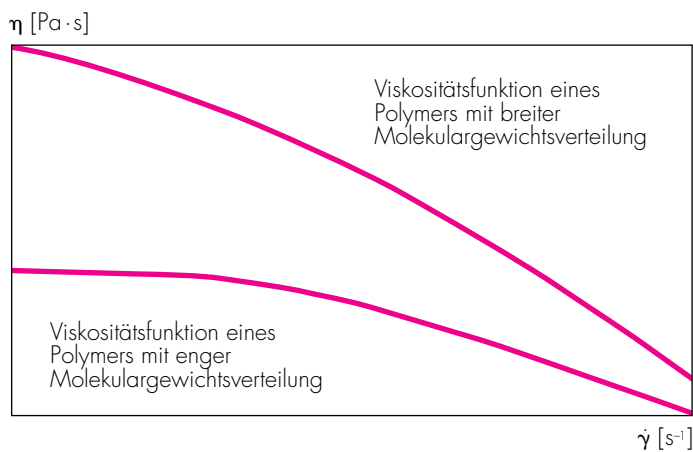


Abb. 5: Viskositätsfunktionen von Grilon F50, Grilon A28 NZ und Grilon R47 HW NZ bei 230°C.



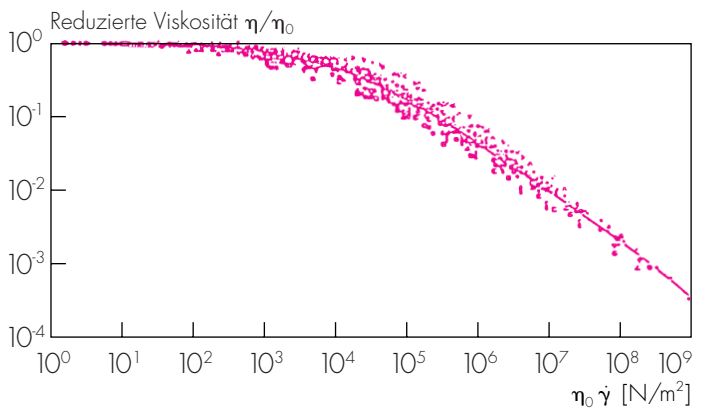
Das Molekulargewicht beeinflusst das Viskositätsniveau. Die Molekulargewichtsverteilung bestimmt die Form der Viskositätsfunktion (Fig. 6).

Abb. 6: Viskositätsfunktionen von Polymeren mit verschiedenen Molekulargewichtsverteilungen



Für viele Polymere ergibt sich eine einzige Funktion mit schmaler Streubreite, wenn die reduzierten Koordinaten  $\eta/\eta_0$  vs  $\eta_0 \dot{\gamma}$  aufgetragen werden (Abb. 7).

Abb. 7: Reduktion der Viskositätsfunktionen von 10 versch. Polymeren (gemäss V. Semjonow, Adv. Polymer Sci., Vol. 5, p 387).



Die reduzierte Viskositätsfunktion beweist, dass die Schernullviskosität,  $\eta_0$ , den Einfluss der chemischen Struktur auf das viskose Fließen erfasst.

Viskositätsfunktionen werden zur Charakterisierung des Fließverhaltens von Polymer-Schmelzen bei der Verarbeitung benötigt. Sie werden zur Auslegung von Extruderschnecken oder Spritzformen verwendet.

Rechnergestützte Konstruktionssysteme wie Moldflow beruhen auf Viskositätsfunktionen (ebenso wie auf thermischen Kennwerten), um die rheologischen und thermischen Bedingungen zu simulieren, die beim Spritzgiessen auftreten. Rheologische Simulationen legen ebenfalls vor Beginn des Formbaus die Position des Angusses fest.



## 2.4 Feuchtigkeit

Polyamide sind aufgrund ihrer chemischen Struktur in der Lage, Feuchtigkeit (Wassermoleküle) zu absorbieren. Abb. 8 zeigt, dass die Wasseraufnahmefähigkeit in direktem Zusammenhang mit der Anzahl der C-Atome im Monomeren steht, d.h. je grösser die Anzahl der C-Atome in der Molekülkette zwischen den Amidgruppen, desto geringer ist die Wasseraufnahmefähigkeit. Für die Praxis bedeutet das, dass vor allem bei den Grilon PA-6-Typen der Feuchtigkeit des Materials grosse Beachtung geschenkt werden muss.

Abb. 8: Gleichgewichts-Wasseraufnahme von Polyamiden

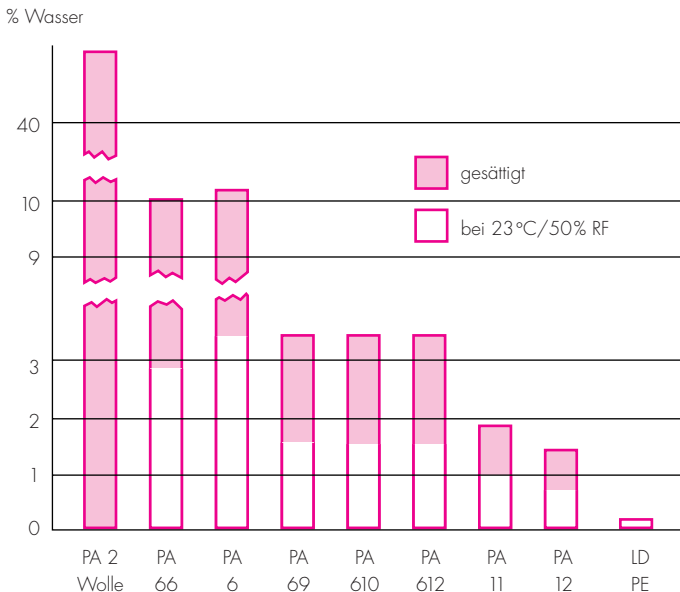
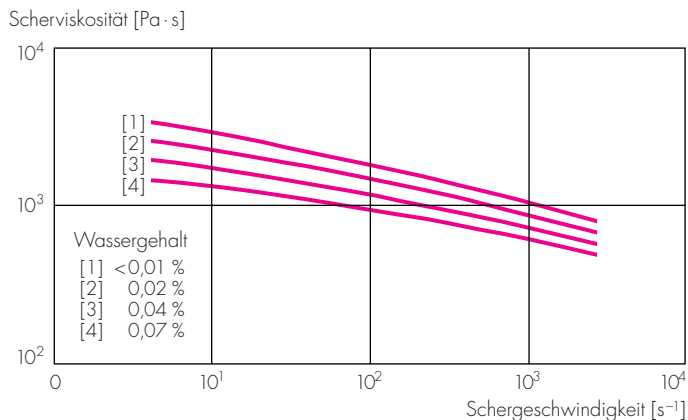


Abb. 9: Einfluss des Wassergehaltes auf die Viskosität bei Polyamid 6



Für die Verarbeitung von Grilamid und Grilon in der Rohrextrusion sind geringere Feuchtigkeitsgehalte erforderlich als z.B. für die Spritzgussverarbeitung. Bei über 0,12% muss mit Feuchtigkeitsbläschen, Düsenablagerungen und, wie bereits erwähnt, mit reduzierter Schmelzviskosität gerechnet werden.

Das von der EMS-GRIVORY gelieferte Grilamid und Grilon wird vor der Auslieferung auf den Wassergehalt überprüft. Unsere engen Spezifikationen stellen sicher, dass die Produkte einwandfrei verarbeitbar sind. Sollte einmal aus irgendwelchen Gründen (z.B. beschädigtes Gebinde etc.) der Wassergehalt zu hoch sein, kann das Granulat, sofern die Einrichtungen vorhanden sind, nachgetrocknet werden.

Folgende Trocknungsmöglichkeiten bieten sich an:

### a) Vakuumtrocknung

Die Vakuumtrocknung ist die schonendste Trocknung generell. Sie erfolgt praktisch unter Sauerstoffausschluss. Darüber hinaus verdampft das durch die Trocknung zu entfernende Wasser bei hohem Vakuum schon bei tiefen Temperaturen.

Wir empfehlen folgende Bedingungen:

- Max. 100°C während 4–12 h
- Vakuum <200 mbar

Nach dem Trocknung unbedingt in Inertgas auf 70°C abkühlen.

### b) Konvektionstrocknung

Diese ist am weitesten verbreitet. Ein heisses Gas überträgt die Wärme an das Gut, nimmt zugleich die verdampfte Flüssigkeit auf und trägt sie aus dem Trockner.

Da Polyamide bei Temperaturen über 80°C zur Oxidation neigen, darf entweder diese Temperatur nicht überschritten werden oder es ist Inertgas zu verwenden, vorzugsweise Stickstoff. Um den für die Extrusion notwendigen Feuchtigkeitsgehalt von <0,08% zu erreichen, sollte der Taupunkt des Gases unter -25°C liegen.

Wir empfehlen folgende Bedingungen:

Luft als Trocknungsmedium

- Taupunkt unter -25°C (-13°F)
- Lufttemperatur 70°C (158°F)
- Trocknungszeit ca. 18 h (auf Vergilbung achten)

Inertgas als Trocknungsmedium

- Taupunkt unter -25°C (-13°F)
- Gastemperatur ca. 110°C (230°F)
- Trocknungszeit ca. 8 h (nach der Trocknung unbedingt in Inertgas auf 70°C abkühlen)

Nach erfolgter Trocknung muss verhindert werden, dass das Granulat im Trichter wieder Wasser aufnimmt, z.B. indem der Trichter immer geschlossen bleibt und nicht mehr Material nachgefüllt wird, als während 2 Stunden verarbeitet werden kann.

# 3. Extrusion

## 3.1 Allgemeines

Der Materialaufschluss im Extruder ist das Produkt aus dem Zusammenwirken der Schnecken-Oberfläche einerseits und der inneren Wandfläche des Zylinders andererseits. Der Zylinder umgibt die Schnecke als Förderkanal.

Im Bereich der ersten Schneckengänge besitzt der Zylinder eine radiale Öffnung, durch die das zu verarbeitende Material eintreten und von der Schnecke in die Aufschlusszone gefördert werden kann. Das ausstossseitige Ende des Extruder-Zylinders ist so gestaltet, dass die verschiedenartigen Werkzeuge daran befestigt werden können.

Die Schnecke ist der wesentlichste Maschinenteil des Extruders. Voraussetzung für die Entwicklung einer wirtschaftlich arbeitenden Schnecke ist eine exakte Vorstellung der mit ihr zu lösenden Produktionsaufgabe.

Von primärer Bedeutung ist für die Praxis, dass Material-Einzug, Aufschluss und Ausstoss so verlaufen, dass eine homogene, gut fließende Schmelze in wirtschaftlicher Quantität aus dem Werkzeug gepresst wird.

## 3.2 Schneckenomenklatur und -geometrie

Die historische Entwicklung der Schneckenlänge, ausgedrückt im Verhältnis Länge x Durchmesser (LXD, L/D-Verhältnis), begann mit dem Wert 10 D und hat dann über 15, 20, 25 D bereits 30 D erreicht.

Grössere Schneckenlängen bewirken eine

- Verlängerung der Verweilzeit des Rohstoffes im Zylinder und damit in der Regel Verbesserung des Materialaufschlusses. Bei niederen Durchsätzen aber auch eine höhere thermische Belastung mit allen Nachteilen wie Monomerenrückbildung usw.
- Reduktion der Druckströmung.

Am Beispiel der in Abb. 10. dargestellten Schnecke, deren Nomenklatur in Tabelle 2 aufgeführt ist, soll nun die zonale Aufteilung der Schnecken in bestimmte Arbeitsbereiche betrachtet werden.

Im allgemeinen sind es drei, selten zwei Zonen, die sich über die wirksame Länge der Schnecke erstrecken (auf Abb. 10 mit I, II und III analog ihrer Funktionsfolge gekennzeichnet). Man darf diese Zonen aber nicht scharf gegeneinander abgrenzen, da sich Aufschluss und Fördervorgang über den gesamten wirksamen Bereich einer Schnecke erstrecken.

Abb. 10: Nomenklatur Dreizonenschnecke

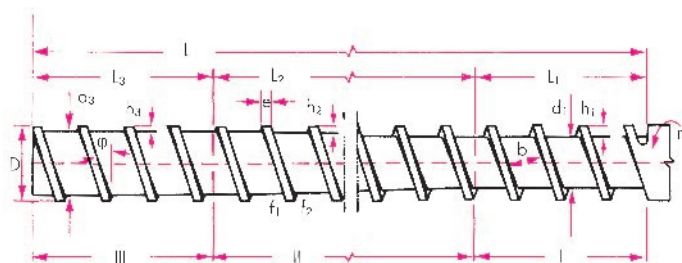


Tabelle 2

Bezeichnung	Abkürzung	
Durchmesser (Schnecke)	D	
Wirksame Schneckenlänge	L	
Einzugszonenlänge	(I)	L <sub>1</sub>
Umwandlung-Kompressionslänge	(II)	L <sub>2</sub>
Ausstosszonenlänge	(III)	L <sub>3</sub>
Steigung	φ	
Gangtiefe Zone I	h <sub>1</sub>	
Gangtiefe Zone II h <sub>2</sub> = f(L <sub>2</sub> )	(h <sub>2</sub> )	
Gangtiefe Zone III	h <sub>3</sub>	
Stegbreite	e	
Stegabstand	b	
Stegflanken (f <sub>1</sub> = treibende)	f <sub>1</sub> f <sub>2</sub>	
Durchmesser (Einzugszone)	d <sub>1</sub>	
Durchmesser (Ausstosszone)	d <sub>3</sub>	

Die Einzugszone hat die Aufgabe, das durch die Eintrittsöffnung in den Zylinder gelangende Material zu erfassen und in den Aufschlussbereich zu transportieren (Feststoff-Förderung).

Die Leistung eines Extruders ist von der Einzugszone geprägt.

Polyolefinverarbeitete Extruder haben stark genutzte Einzugszonen, mit welchen, wenn sie intensiv gekühlt sind, eine Art Zwangsförderung erreicht wird. Die vorderen Zonen werden praktisch überfahren.

Für Polyamide haben sich solche Einzugszonen nicht unbedingt bewährt. Wegen der hohen Wärmeformbeständigkeit der Polyamide erreichen die Granulate in zu festem Zustand die Volumenverengung der Kompressionszonen, was zu Pulsationen, ja sogar zum kompletten Förderverlust führen kann.

Zusätzlich kann eine starke Scherwirkung auf die Polyamidgranulatkörner Unregelmässigkeiten in der Schmelze und den Extrusionsprodukten hervorrufen (siehe auch Abschnitt 3.5.1).

Die der Einzugszone folgende, auf Abb. 10 mit II markierte Umwandlungs- bzw. Kompressionszone hat die Aufgabe, das Material aufzuschliessen und zu einer strukturviskosen Schmelze zu verdichten. Bei vielen Schneckenkonstruktionen ist dieser Abschnitt gekennzeichnet durch eine Progression des Schneckenkerns bis auf den Durchmesser der nachfolgenden Ausstosszone. Hierdurch wird das Gangvolumen reduziert, der Materialfluss komprimiert und das unterschiedliche Volumen von Material in fester, thermoelastischer und thermoplastischer Konsistenz ausgeglichen.

Ferner bewirkt die Kompression:

- Verbesserung des Wärmeübergangs von Schnecke und Zylinder auf das Material
- Zurückdrängung von Luft bzw. ausgedehnter Feuchtigkeit

Die «Grösse» der Kompression wird in einer Kompressionszahl ausgedrückt. Die Kompressionszahl ist das Verhältnis zwischen dem Kammervolumen, das durch die ersten beiden Gänge in der Einzugszone gebildet wird, und dem Kammervolumen zwischen den letzten beiden Gängen in der Ausstosszone.

Da die heutigen gängigen Schnecken eine konstante Steigung aufweisen, kann die Kompressionszahl auch als Verhältnis der Gangtiefen ausgedrückt werden, wobei das Gangtiefenverhältnis nicht gleich dem Kompressionsverhältnis ist:

Kompressionsverhältnis	$K = \frac{D^2 - d_1^2}{D^2 - d_3^2}$	1)
Gangtiefenverhältnis	$= \frac{h_1}{h_3}$	2)

- D = Zylinderdurchmesser  
 d<sub>1</sub> = Schneckenkerndurchmesser in Einzugszone  
 d<sub>3</sub> = Schneckendurchmesser in Ausstosszone  
 h<sub>1</sub> = Gangtiefe in Einzugszone  
 h<sub>3</sub> = Gangtiefe in Ausstosszone  
 K = Kompressionszahl

Aus Formel (1) kann für eine gewünschte Kompression der Kerndurchmesser in der Einzugszone berechnet werden:

$d_1 = \sqrt{D^2 - K(D^2 - d_3^2)}$	3)
-------------------------------------	----

Zylinder mit förderwirksamen Nuten in der Einzugszone verlangen Schnecken mit reduzierten Kompressionen. Der letzte Schneckenabschnitt, die Ausstosszone (Abb. 10, III), auch Metering-, Dosier- oder Pumpzone genannt, übernimmt die Aufgabe, die homogene, innerhalb der Umwandlungszone aufgeschlossene Materialschmelze in konstantem, homogenen Strom unter gleichmässigem Druck in das Extruderwerkzeug zu pressen.

### 3.3 Bewährte Schneckenabmessungen für die Verarbeitung von Polyamid

In Abb. 11a und b sind geeignete Schnecken geometrien für die Verarbeitung von Polyamid dargestellt. Richtwerte zur Schnecken gangtiefe für verschiedene Schneckendurchmesser zeigt Abb. 11c.

Zu beachten ist, dass zu niedrige Gangtiefe in der Einzugszone sowie eine Verlängerung der Kompressionszone zu starken Friktionen der Granulatkörner und damit zu unkontrollierbaren Temperatur-, Druck- und Förderbedingungen führen können.

Der Mittelwert der empfohlenen Gangtiefe entspricht einem Kompressionsverhältnis von 3.

Abb. 11a

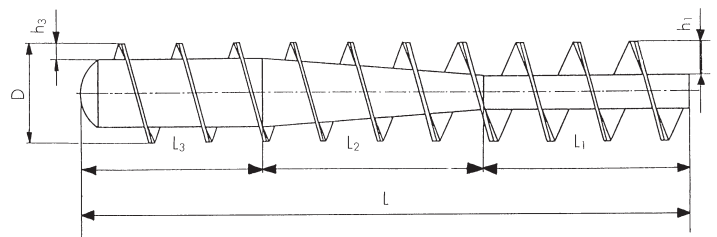


Abb. 11b

L/D	L <sub>3</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>1</sub>
20	8 – 10	4 – 7	4 – 7
25	8 – 10	4 – 7	8 – 11
28	9 – 12	4 – 7	9 – 11

Abb. 11c:

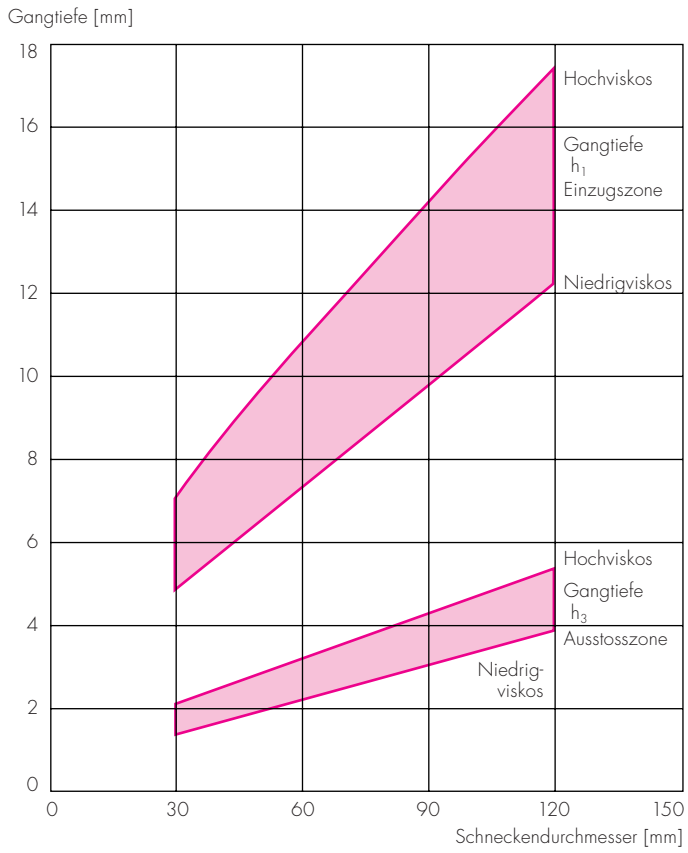
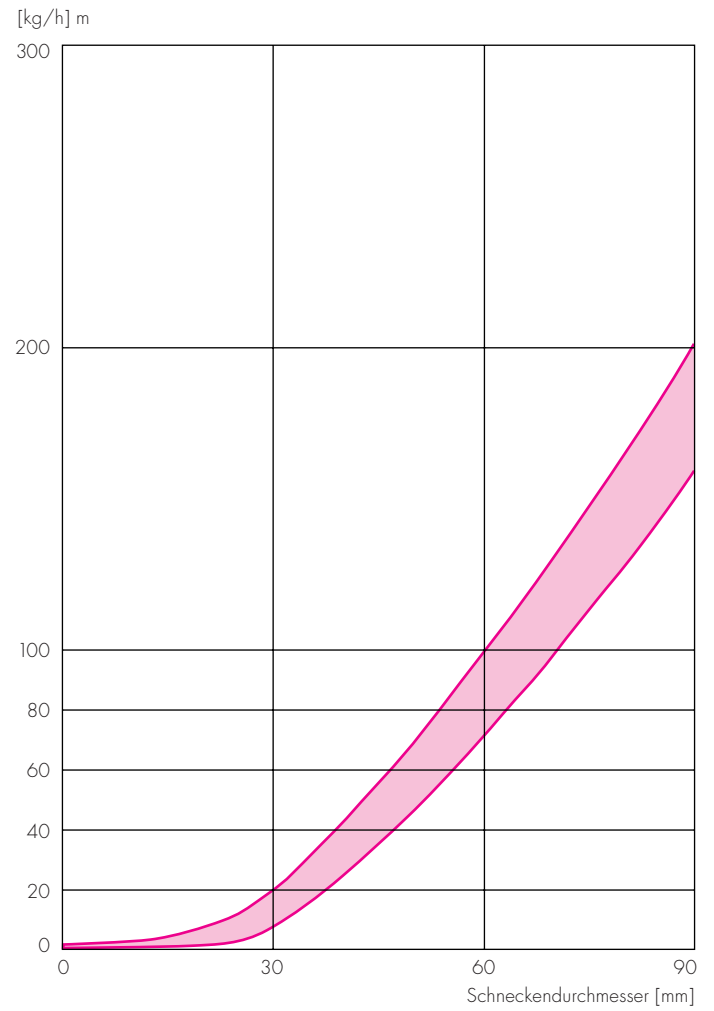


Abb. 12: Erzielbare Ausstossleistungen in Abhängigkeit des Schneckendurchmessers mit Grilamid und Grilon



### 3.4 Temperatureinstellungen

Temperaturangaben können nur als Richtlinien angesehen werden und müssen in jedem Fall optimiert werden. Die Richtlinien sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3: Temperatur-Richtlinien für die Rohrextrusion von Grilon und Grilamid

Typen-Bezeichnung	Anwendungsgebiet	Temperatureinstellungen (°C) Zylinder					Kopf	
		1	2	3	4	5	1	2
Grilamid L25 W40 X	Druckluftbremsleitungen, Kraftstoffleitungen	210	220	220	220	220	220	210
Grilamid L25 W40 NZ	Off-shore Ölleitungen	190	200	200	200	200	200	190
Grilamid L25 W20 X	Kraftstoffleitungen, Druckluftbremsleitungen	220	230	230	230	230	230	220
Grilamid L25	Nahrungsmittelindustrie	230	240	240	240	240	240	240
Grilamid L25 LF grau	Bowdenzüge	200	210	210	210	210	210	200
Grilamid L25 W40 natur 6428	Transparente Pneumatikleitungen	200	210	210	210	210	210	200
Grilamid DS 25 LF grau	Bowdenzüge	220	230	230	230	230	230	220
Grilamid ELY 60	Flexible industrielle Leitungen	170	180	180	180	180	180	180
Grilaid TR 55	Glasfaserummantelung, Nahrungsmittelindustrie	250	260	260	260	260	260	260
Grilon F50	Entlüftungsleitungen für die Automobilindustrie	240	250	250	250	250	250	240
Grilon R47 HW NZ	Freonleitungen, Pneumatik (flexibel)	225	230	235	235	235	230	220
Grilon R47 HW	Pneumatik	210	220	220	220	220	220	210
Grilon A28 NZ	Freonleitungen, Pneumatik (flexibel)	220	230	235	230	230	230	220
Grilon A28 VO	Wellrohr (Elektrikindustrie)	220	230	230	230	230	220	210
Grilon ELX23 NZ	Pneumatik, flexibel	210	220	220	220	220	220	210

### 3.5 Zylinder

Der Zylinder hat die Aufgabe, die Schnecke zu führen, die Schneckenstege abzudichten und die notwendige Aufschmelzenergie der Kunststoffmasse zuzuführen. Der Zylinder ist ein dickwandiges Präzisionsstahlrohr mit engen Herstelltoleranzen und mit sorgfältig durchgeführter Wärmenachbehandlung, um Verzug bei den wiederholten Aufheizvorgängen zu vermeiden. Für die Verarbeitung von unverstärktem Grilamid und Grilon wird die Zylinderinnenwand nitriert und anschliessend gehont. Bei unsachgemässer Nitrierung und Nachbehandlung kann das stark wandhaftende Polyamid durch die beim Abkühlen entstehenden Schrumpfspannungen örtliche Nitrierschichtablösungen verursachen. Bei der Verarbeitung von glas- und mineralgefüllten Grilamid- und Grilon-Typen empfehlen wir gepanzerte oder durchgehärtete Zylinderrohre.

Die Wanddicke der Zylinderrohre ist so bemessen, dass bei den auftretenden hohen Drücken bis zu 1000 bar die Dehnung in der Zylinderinnenwand schadlos überstanden wird.

$$\Delta d_i = \frac{2 P_i}{E} \frac{r^3}{R^2 - r^2} \left[ \frac{R^2}{r^2} (\nu + 1) + 1 - \nu \right] \quad (4)$$

- $\Delta d_i$  = Ausdehnung des Innendurchmessers unter Druck
- $P_i$  = Innendruck
- $E$  = E-Modul von Zylinderwerkstoff
- $R$  = äusserer Zylinderradius
- $r$  = innerer Zylinderradius
- $\nu$  = Querkontraktionszahl Zylinderwerkstoff

Aus regelungstechnischer Sicht sollte jedoch die Zylinderwand möglichst dünn ausgeführt werden, um hohe Änderungsgeschwindigkeiten für Heizen und Kühlen zu erreichen.

Am Zylindereingang befindet sich die Einfüllöffnung für das Granulat. Im Bereich von 1–2 D nach der Einfüllöffnung sollte der Zylinder gekühlt sein, um bei notwendigen Stillstandzeiten ein eventuelles Zurückfliessen der Schmelze und damit ein Verblocken der Einfüllöffnung zu verhindern.

#### 3.5.1 Förderwirksame Einzugsbuchsen

Bei der Polyolefinverarbeitung sind genutete und gekühlte Einzugsbuchsen als förderwirksame Massnahme zur Leistungserhöhung Stand der Technik. Die gesamte Extruderleistung wird von der Einzugsbuchse bestimmt. Die Schnecke wird praktisch überfahren und wirkt als Druckverbraucher und nicht mehr als Druckerzeuger.

Für Polyamide können diese Systeme nicht ohne weiteres übernommen werden. Der relativ hohe E-Modul bis zum Schmelzpunkt der Polyamide führt in Verbindung mit den genuteten Einzugsbuchsen zu Problemen wie Förderschwankung und hohen Drehmomenten.

In solchen Fällen empfiehlt es sich, die Temperatur der Nutzenbüchse zu erhöhen. Da die Temperatur der Einzugsbüchse starken Einfluss auf die Ausstossleistung hat, empfiehlt es sich, die Temperatur mit Öltemperiergeräten konstant zu halten.

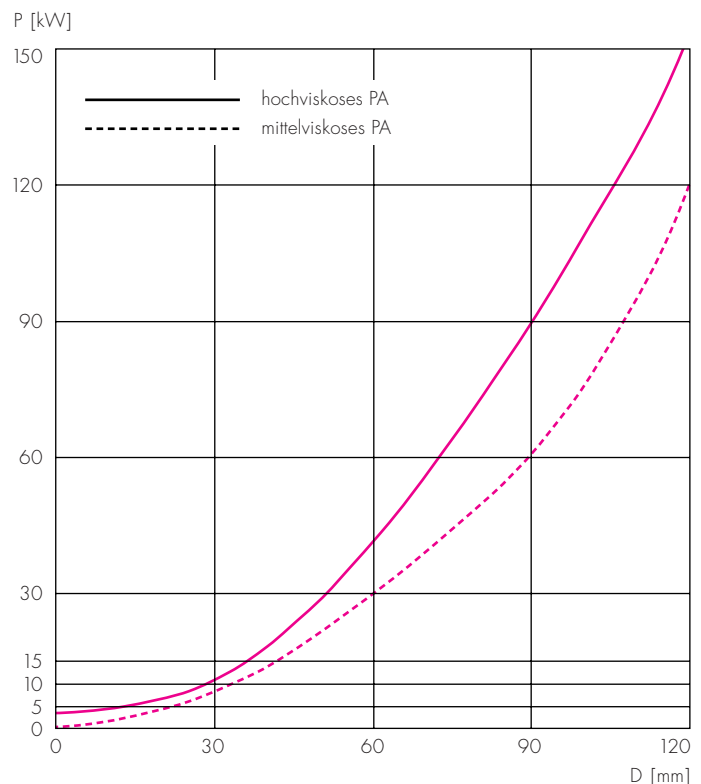
Für die Verarbeitung von Grilamid und Grilon empfehlen wir glatte Einzugsbuchsen. Zur Erzielung höherer spezifischer Ausstossleistungen kann die Einzugszone auf eine Länge von 2D nach der Einfüllöffnung leicht gerillt werden (Rillentiefe maximal 0,5 mm).

### 3.6 Antrieb

Will man eine gleichmässige und pulsationsfreie Schmelzförderung, ist es wichtig, den Extruder mit einer ausreichenden Antriebsleistung auszurüsten (vgl. Abb. 13).

Nach dem heutigen Stand der Elektronik werden moderne Extruder mit Thyristo gesteuerten Gleichstrommotoren ausgerüstet. Diese zeichnen sich durch hervorragende Drehzahlstabilität und leichte Integrierbarkeiten in mikroprozessorgesteuerten Produktionsanlagen aus.

Abb. 13: Erforderliche Antriebsleistung für PA-verarbeitende Extruder

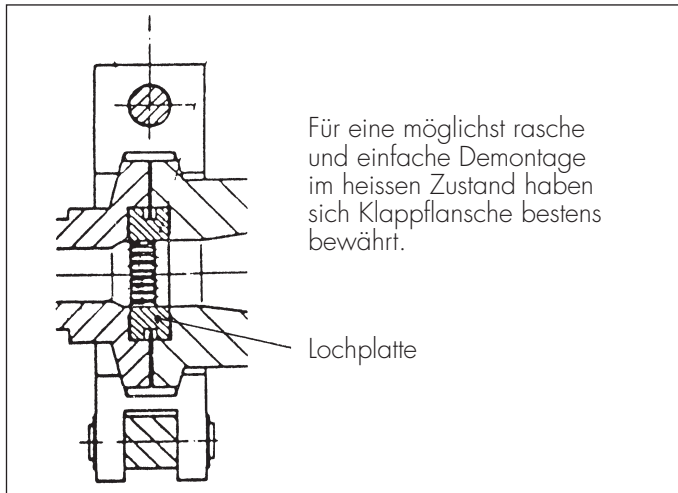


# 4. Formgebung

## 4.1 Anschluss Rohrkopf

Das Formgebungswerkzeug, der Rohrkopf, wird am Zylinderende angeflanscht.

Abb. 14



### 4.1.1 Lochplatte

Zwischen den Anschlussflanschen von Zylinder und Kopf kann eine Lochplatte eingebaut werden (s. Abb. 15).

Für Polyamide ist dies auf jeden Fall zu empfehlen. Sie

- verhindert eine durch die Schnecke erzeugte Rotation zu der Schmelze;
- homogenisiert die Temperatur der Schmelze;
- erzeugt einen Schmelzegegendruck und
- erzeugt einen Schmelzegegendruck und ermöglicht den Einbau von feinen Sieben zur weiteren Homogenisierung der Schmelze.

Um die vorher genannten Aufgaben erfüllen zu können, sollte die Lochplatte Konstruktionsmerkmale gemäss Abb. 15 aufweisen.

Abb. 15: Lochplattendimensionen

Extruderdurchmesser (mm)	Lochplattendicke (mm)	Lochdurchmesser (mm)	
30	6 – 10	1.5 – 2	[mm]
45	8 – 12	1.8 – 2.5	[mm]
60	15 – 20	2 – 3	[mm]
90	20 – 30	2.5 – 3.5	[mm]

### 4.1.2 Siebe

Bei Verwendung von Original Grilamid und Grilon sind Siebe für die Rohrherstellung nicht zwingend notwendig. Wird aber gelegentlich Regenerat mitverwendet, empfehlen wir den Einbau eines Siebpaketes mit folgenden Maschenweiten:

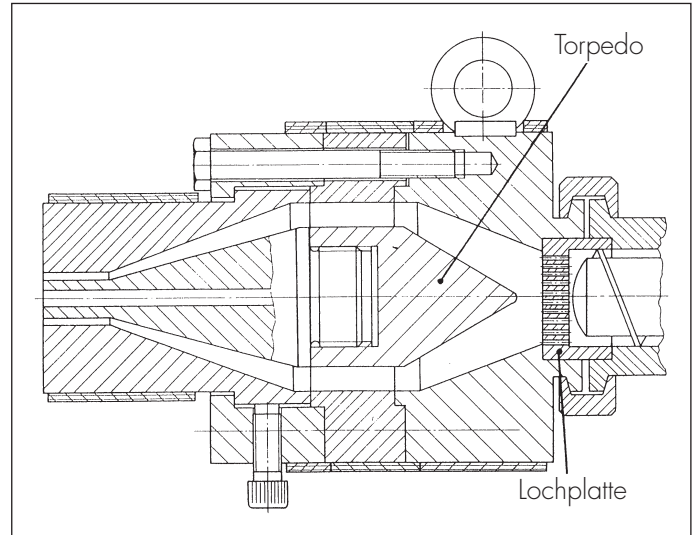
- Stützsieb vor Lochplatte 20 Maschen/cm<sup>2</sup>
- Filtersieb 450 Maschen/cm<sup>2</sup>
- Filtersieb 900 Maschen/cm<sup>2</sup>
- Vorsieb 90 Maschen/cm<sup>2</sup>

## 4.2 Rohrkopf

Die Konstruktion des Rohrkopfes hat bedeutenden Einfluss auf die

- störungsfreie Extrusion mit hohen Geschwindigkeiten
- mechanischen Eigenschaften wie Kälteschlagzähigkeit, Berstdruck und Langzeitinnendruckstandfestigkeit
- die optische Qualität der Rohre.

Abb. 16: Rohrkopf



### 4.2.1 Torpedo

Die aus der Lochplatte austretende Schmelze muss zur Erfüllung eines Hohlprofils, z.B. eines Rohres, zu einem ringförmigen Gebilde geformt werden. Man erreicht dies durch den Einbau eines Verdrängungskörpers (Torpedo).

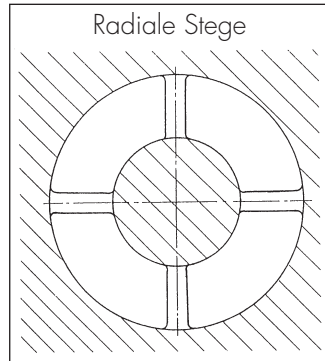
Der Torpedo muss im Strömungskanal mechanisch fest angebunden sein. Diese Anbindung kann auf zwei Arten geschehen:

- durchbohrte Ringhalterung (Abb. 17)
- radiale Stege (Abb. 18)

Abb. 17:



Abb. 18:



Die durchbohrte Ringhalterung ist mechanisch einfacher herzustellen, doch sie ist strömungstechnisch und in ihrer mechanischen Steifigkeit ungünstig. Sie findet deshalb kaum Verwendung.

Radiale Stege sind zur Halterung des Torpedos für die Verarbeitung von PA nach wie vor optimal.

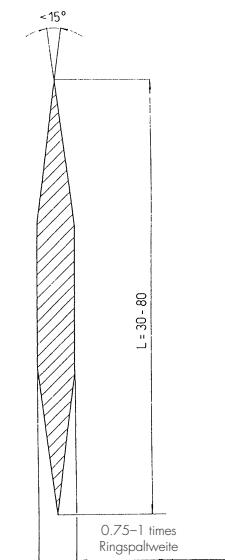
Gründe:

- einfache Konstruktion
- keine rheologischen Probleme
- relativ einfach herstellbar
- hohe mechanische Festigkeit
- Fließlinien und Bindenähte können durch gute konstruktive Gestaltung des nachfolgenden Düsenwerkzeuges wieder vermisch werden.

Abb. 19

Die Anzahl der Dornhaltestege variiert zwischen zwei und acht je nach Durchmesser des Rohrwerkzeuges.

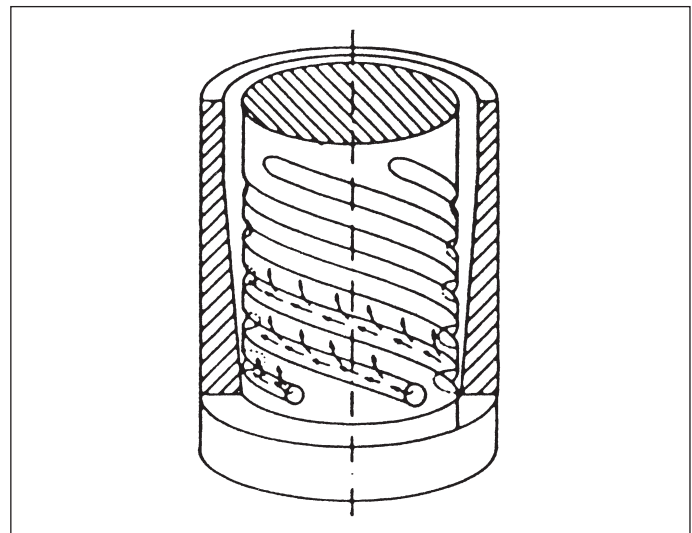
Die Länge der Stege variiert je nach Anzahl zwischen 30 und 80 Millimetern und die Breite der Stege zwischen dem 0.75–1-fachen der Ringspannweite. Der An- und Abströmwinkel sollte kleiner als  $15^\circ$  sein, um Schmelzeturbulenzen zu vermeiden.



#### 4.2.2 Wendelverteilerwerkzeuge

Beim Wendelverteilerwerkzeug wird der angelieferte Schmelzstrom zunächst in mehrere Einzelströme aufgeteilt. Diese Primärverteiler münden in wendelförmige Kanäle, die im Dorn eigearbeitet sind und diesen in Form eines Mehrfachgewindes umlaufen. Dabei nimmt die Kanaltiefe stetig ab, und der Spalt zwischen Dorn und äußerem Werkzeugteil nimmt stetig zu.

Abb. 20: Wendelverteiler



Vorteile des Wendelverteilers

Durch den Wegfall der Dornhalterelemente hohe mechanische Festigkeit und vollständige Vermeidung von Fließmarkierungen und Bindenähten.

Nachteile des Wendelverteilers

Hohe Anforderung an rheologische Gestaltung und hohe fertigungstechnische Genauigkeit erforderlich.

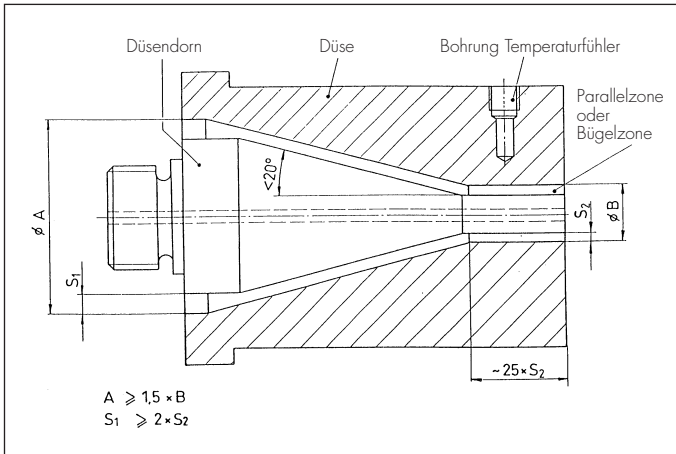
#### 4.3 Rohrwerkzeug (Düse und Düsendor)

Im Anschluss an die Dornhalterung oder den Wendelverteiler folgt unmittelbar das eigentliche Rohrwerkzeug, nämlich die Düse, auch Mundstück genannt, und der Düsendor.

Im Rohrwerkzeug wird die Schmelze stark beschleunigt. Diese Beschleunigung erzeugt einen gewünschten Druckverlust im Werkzeug, welcher zwischen 80 bar und 250 bar liegen sollte. Die Länge der Parallelzone, nämlich die  $25 \times$  Spaltweite, sollte eingehalten werden, weil sie Einfluss auf die Rohrqualität hat. Eine zu kurze Parallelzone bringt starke Schmelzstrangaufweitung, und die durch die Dornhalter verursachten Bindenähte werden nicht vollständig eliminiert.



Abb. 21: Rohrwerkzeug



Düse und Düsensporn müssen absolut konzentrisch eingestellt sein, weil andernfalls die Schmelze an der Stelle mit dem größeren Spalt infolge des geringeren Druckverlustes voreilt. Eine so abgezogene Schmelze erzeugt ein Rohr mit starkem Wanddickenunterschied über den Umfang.

Absolute Konzentrität ist fertigungstechnisch nur mit unverhältnismässig hohem Aufwand zu realisieren. Darüber hinaus kann durch ständiges Ab- und Aufheizen Verzug auftreten.

Aus diesem Grunde kann die in einem Losflansch eingeklemmte Düse mit vorzugsweise 6 über dem Umfang verteilten Schrauben während der Extrusion zentriert werden.

#### 4.4 Abzugsverhältnis

Durch viele Messungen und Untersuchungen haben wir festgestellt, dass wichtige Rohreigenschaften wie Kälteschlagzähigkeit, Bruchdehnung und  $ZnCl_2$ -Beständigkeit bei hohen Temperaturen durch das Abzugsverhältnis beeinflusst werden. Dabei ist das Gesamtzugsverhältnis weniger kritisch als das Unterzugsverhältnis, welches durch den Einlauf in die Kalibrierung, die Schmelzevorver Streckung und die Schmelzever Streckung in der Kalibrierung, beeinflusst wird.

Es ist auch bekannt, dass relevante Rohreigenschaften durch die Abzugsgeschwindigkeit beeinflusst werden, wobei höhere Abzugsgeschwindigkeiten schlechtere Rohrqualität ergeben. Durch richtige Wahl des Abzugs- und Unterzugsverhältnisses können auch bei hohen Geschwindigkeiten mit Grilamid und Grilon einwandfreie Rohre hergestellt werden.

Abb. 22a: Verhältnis Düsendurchmesser/Rohrdurchmesser in  $f$  (Abzugsgeschwindigkeit)

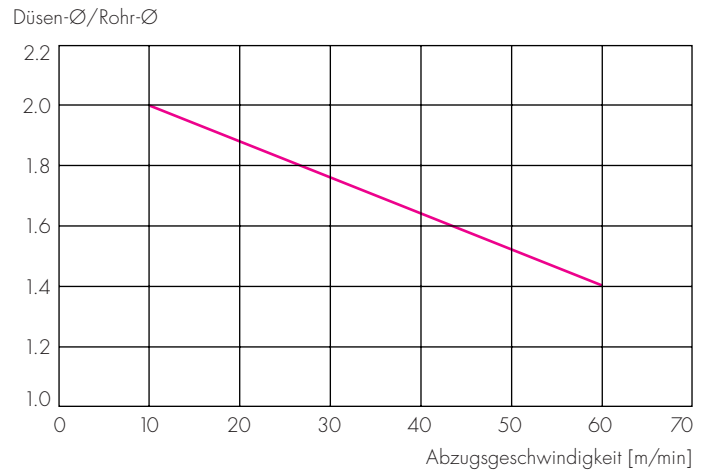
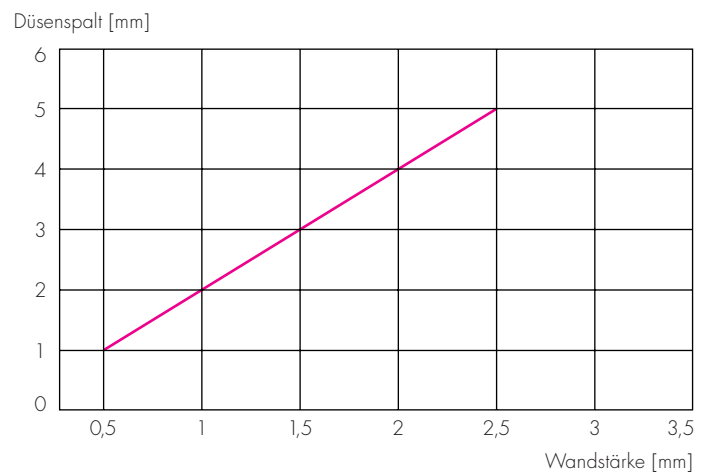


Abb. 22b: Düsenspalt in  $f$  (Rohrwandstärke)



# 5. Kalibrierung

## 5.1 Kalibrierprinzip

Die aus PA gefertigten Rohre und Schläuche sind überwiegend nach Aussendurchmesser und Wanddicke genormt. Aus diesem Grund soll hier nur die Aussenkalibrierung detailliert behandelt werden.

Arbeitsprinzip der Kalibrierung ist, dass der aus dem Rohrwerkzeug austretende, noch thermoplastisch verformbare Schmelzschlauch in einer kreisförmigen Kalibrierbüchse durch Wirkung inneren Überdruckes zum Anliegen gebracht wird. Durch Kontakt mit der Kühlbuchse oder direkt mit dem Kühlmedium an seiner äusseren Oberfläche wird die Schmelze abgekühlt, und das erreichte Aussenmass unter Berücksichtigung weiterer Schrumpfeffekte ergibt den genormten Aussendurchmesser innerhalb der zulässigen Toleranz.

Abb. 23: Vakuumtankkalibrierung

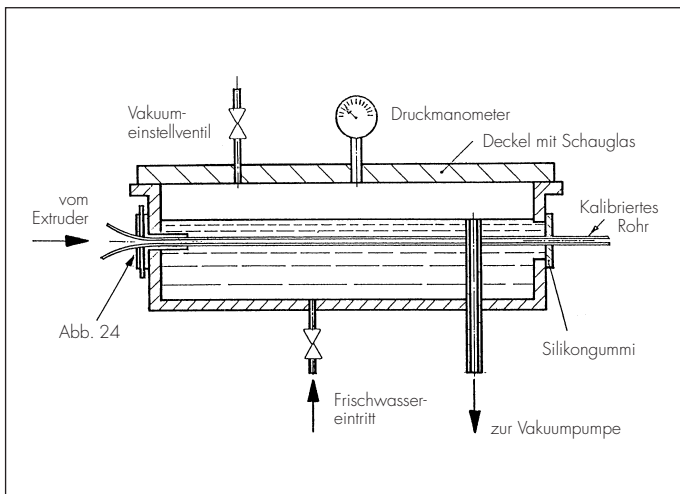
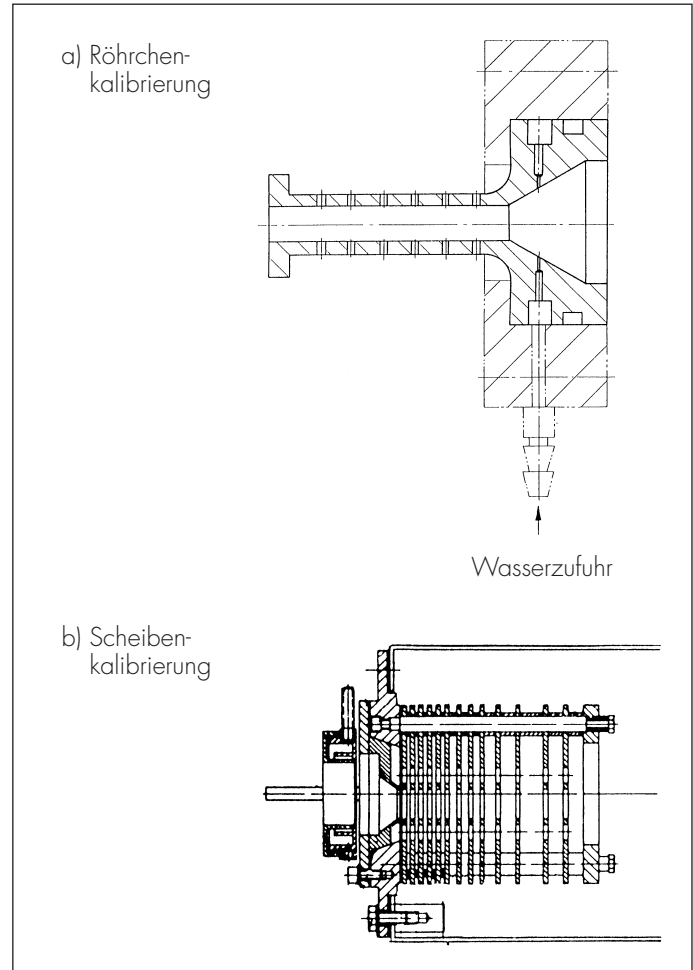


Abb. 24



## 5.2 Verwendete Kalibratoren

Die Röhrenkalibrierung wird bevorzugt, da sie:

- einfach herzustellen ist;
- ein problemloses Anfahren ermöglicht;
- einen geringen Reibungswiderstand auch bei hohem Vakuum aufweist;
- die äusserste, verfestigte Oberfläche des Röhren wenig verstreckt;
- keine Wellen in der Rohrwand erzeugt.

Für ein einwandfreies Arbeiten auch bei hohen Abzugsgeschwindigkeiten muss am Einlauf der Kalibrierung eine Wasserschmierung vorhanden sein. Darüber hinaus sollte die Kalibrierung sandgestrahlt sein (Korngrösse 0.2–0.3 mm), um einen ständigen Wasserfilm zwischen Schmelze und Kalibrierung sicherzustellen.

Bei der Kalibrierung von PA-Röhren ist auch darauf zu achten, dass die Kalibrierung selbst immer ausreichend gekühlt ist. An warm gewordenen Kalibrierungen kann die PA-Schmelze kleben bleiben. Dies führt zu optischen Defekten, darüber hinaus wird die Rohrqualität bezüglich mechanischer Eigenschaften negativ beeinflusst.

## 5.3 Vakuumtank und Zubehör

### 5.3.1 Abdichtung Vakuumtankkühlbad

Zur Erzielung von einwandfreien und massgenauen Rohren bei hohen Abzugsgeschwindigkeiten ist eine leichtgängige, aber genaue Abdichtung des extrudierten Rohres am Ende der Vakuumtankkalibrierung notwendig. Wir empfehlen ca. 1,5 mm dicke Silikongummischeiben, die gut abgestützt sind, um jedes Flattern der Gummischeiben zu verhindern.

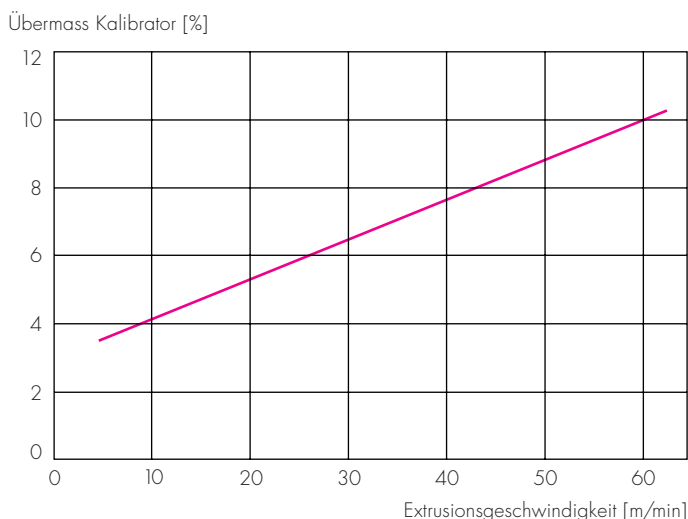
### 5.3.2 Vakuumpumpe

Es werden üblicherweise Wasserringpumpen verwendet. Es ist zu beachten, speziell bei grösseren Rohren, dass die Pumpe eine genügend hohe Förderleistung aufweist und auch in der Lage ist, das überschüssige Kühlwasser abzusaugen, um die Temperatur im Kühlbad unter 25°C zu halten.

## 5.4 Schwundübermass

Da die PA-Schmelze während der Kalibrierung einem Phasenübergang unterworfen ist und darüber hinaus ein Temperaturgefälle von bis zu 240 °C überwunden wird, ist mit einem vom Rohstoff abhängigen Schwund zu rechnen, welcher bei einer Kalibrierung berücksichtigt werden muss. (Siehe Abb. 25).

Abb. 25: Kalibratorübermass in Abhängigkeit der Extrusionsgeschwindigkeit



## 5.5 Kühlbad

Um das Rohr nach dem Kalibrierprozess auf Raumtemperatur zu bringen, sind weitere Kühlstrecken nötig. Jedes Bad benötigt einen eigenen Zu- und Ablauf. Die benötigte Länge der Wasserbäder ist eine Funktion der Abzugsgeschwindigkeit, der Masstemperatur, der Rohrdimension (im besonderen der Wandstärke) und nicht zuletzt auch des Rohstoffes.

Das Erschwerende bei der Abkühlung von Kunststoffschmelzen ist immer die geringe Wärmeleitfähigkeit in der Polymere, d.h. eine Vergrösserung durch Besprühen oder Bewegen des Wassers hat nur geringen Einfluss auf die Abkühlzeit. Dies ist auch leicht zu beobachten: Rohre verlassen scheinbar kalt das Wasserbad und erwärmen sich sofort wieder durch die noch immer gespeicherte Wärmeenergie.

Moderne PA-Rohrextrusionsanlagen, die für Geschwindigkeit bis zu 60m/Min. ausgelegt sind, haben Kühlbäder von bis zu 14 m Länge.

---

## 6. Dimensionskontrolle

PA-Rohre werden selbst bei hohen Geschwindigkeiten in sehr engen Toleranzen hergestellt.

Durchmesser/Wanddickentoleranzen von  $\pm 0.05$  mm sind keine Seltenheit. Die kontinuierliche Inline-Erfassung und Aufzeichnung der Dimensionen ist mittlerweile Stand der Technik.

### 6.1 Aussendurchmesser

Der Aussendurchmesser ist sehr einfach Inline mittels Laser-Lichtquellen zu erfassen. Die Messdaten können zur externen Ausregelung des Vakuums im Kalibrierbad benützt werden.

### 6.2 Wanddicke

Die kontinuierliche Messung der Wanddicke kann durch Ultraschall-Wanddickenmessung erfolgen.

## 7. Bedrucken von Rohren

### 7.1 Signierverfahren

Folgende Signierverfahren werden für PA-Rohre verwendet:

- indirekter Tiefdruck
- Flexodruck
- Farbstrahlsignierung

Farbprägungen sind in vielen Normen nicht zugelassen, da die Oberfläche des Rohres dadurch beschädigt wird.

Gemäss den einschlägigen Normen sind PA-Rohre mit Kontrastfarben zu bedrucken. Folgende Informationen sollen im Abstand von 250–400 mm gegeben werden:

- Verwendungszweck und Norm
- Rohstoff bzw. dessen Kurzzeichen
- Nenngrösse
- Rohrhersteller und Produktionsdatum

Die Bedruckung muss dauerhaft sowie kraftstoff- und lösungsmittelbeständig sein. Die Bedruckung erfolgt in der Regel zwischen Kühlbad und Abzug. Zur Verbesserung der Farbverhaftung und schnelleren Abbindung der Druckfarbe werden die Rohre vor und nach dem Bedrucken beflammt.

## 8. Thermoformen von Rohren

In der KFZ-Hydraulik- und Pneumatikindustrie werden zur Erreichung rationeller Arbeitsabläufe häufig vorgeformte Rohre aus Grilamid und Grilon eingesetzt. Diese Rohre weisen also bereits vor dem Einbau die notwendigen Biegeradien und Krümmungen auf.

### 8.1 Arbeitsablauf

Die kalten Grilamid- und Grilon-Rohre werden in geeignete Blechformen eingebracht, welche die notwendigen Krümmun-

gen und Biegeradien aufweisen. Zur Verhinderung des Einknickens werden Stahlspiralen eingesteckt, die nach dem Thermofixieren wieder entfernt werden.

Die so kalt geformten und fixierten Rohre werden in einem heißen Medium thermofixiert.

Normalerweise wird heiße Luft, Glykol, Polydiol oder Wasserdampf bei 150°C eingesetzt.

#### 8.1.1 Thermofixierbedingungen

Material	Rohrwandstärke [mm]	Fixiermedium	Fixiertemperatur [°C]	Fixierzeit [min]
Grilamid L25 (hart)	1	Polydiol	150	5
		Luft	160	10
	2	Polydiol	150	10
		Luft	160	20
Grilamid L25 W40 (weich)	1	Polydiol	150	5
		Luft	160	10
	2	Polydiol	150	10
		Luft	160	20
Grilon F50 (hart)	1	Polydiol	170	5
		Luft	180	10
	2	Polydiol	170	10
		Luft	180	20
Grilon R47 HW Grilon R47 HW NZ (weich)	1	Polydiol	160	5
		Luft	170	10
	2	Polydiol	160	10
		Luft	170	20

Nach diesem Verfahren werden auch Rohrwendeln für Druckluftbremsanlagen für Sattelschlepper oder Druckluftwerkzeuge hergestellt. Von diesen Rohrwendeln wird hohes Rückstellver-

mögen (möglichst auf null) verlangt. EMS-GRIVORY hat ein Verfahren entwickelt, welches erlaubt, Rohrwendeln mit bisher nicht bekanntem Rückstellvermögen herzustellen.

Die vorliegenden Daten und Empfehlungen entsprechen dem heutigen Stand unserer Erkenntnisse, eine Haftung in bezug auf Anwendung und Verarbeitung kann jedoch nicht übernommen werden.

Domat/Ems, April 2001

**EMS-GRIVORY Europa**

**Schweiz**

EMS-CHEMIE AG  
Unternehmensbereich EMS-GRIVORY Europa  
Via Innovativa 1  
7013 Domat/Ems  
Schweiz  
Tel. +41 81 632 78 88  
Fax +41 81 632 76 65  
welcome@emsgrivory.com

**Deutschland**

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

**Frankreich**

EMS-CHEMIE (France) S.A.  
855 Avenue Roger Salengro  
Boîte postale 16  
92370 Chaville  
France  
Tel. +33 1 41 10 06 10  
Fax +33 1 48 25 56 07  
welcome@fr.emsgrivory.com

**Grossbritannien**

EMS-CHEMIE (UK) Ltd.  
Darfin House, Priestly Court  
Staffordshire Technology Park  
Stafford ST18 0LQ  
Great Britain  
Tel. +44 1785 283 739  
Fax +44 1785 283 722  
welcome@uk.emsgrivory.com

EMS-GRIVORY,  
ein Unternehmensbereich der EMS-Gruppe

**Italien**

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

**EMS-GRIVORY Asia**

**China**

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

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

**Taiwan**

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

**Korea**

EMS-CHEMIE (Korea) Ltd.  
#817 Doosan Venturedigm,  
415 Heungan Daero,  
Dongan-gu, Anyang-si,  
Gyeonggi-do, 431-755  
Republic of Korea  
Tel. +82 31 478 3159  
Fax +82 31 478 3157  
welcome@kr.emsgrivory.com

**Japan**

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

**EMS-GRIVORY America**

**Vereinigte Staaten**

EMS-CHEMIE (North America) Inc.  
2060 Corporate Way  
P.O. Box 1717  
Sumter, SC 29151  
USA  
Tel. +1 803 481 61 71  
Fax +1 803 481 61 21  
welcome@us.emsgrivory.com