

Verarbeitung von rieselfähigen duroplastischen Formmassen

I. Spritzgießen von Duroplasten

1. Spritzgießmaschinen

Für die Verarbeitung von rieselfähigen Duroplasten sind alle Standard –Spritzgießmaschinen geeignet, die mit einer Spritzeinheit für Duroplaste ausgerüstet sind.

Die Schnecken für Duroplaste haben normalerweise eine Kompression von 1 - 1,2. Das Verhältnis Schneckenlänge (L) zu Schneckendurchmesser (D) liegt im Normalfall bei:

$$L/D = 15 - 19$$

Der Spritzzylinder soll mindestens zwei separat regulierbare Heizzonen besitzen (siehe Bild 1).

2. Verarbeitung von Formmassen der RASCHIG GmbH

Die Parameter zur Verarbeitung von rieselfähigen duroplastischen Formmassen der RASCHIG GmbH nach dem Spritzgießverfahren

AMPAL ® (MPV)
ESPLADUR ® (PF)
MELOPAS ® (MP/MF)
RALUPOL ® (UP)
RESINOL ® (PF)

sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

3. Werkzeuggestaltung

3.1 Anguß- und Verteilersysteme

Die Verteilerkanäle sind entweder mit rundem Querschnitt oder trapezförmig mit abgerundeten Ecken auszuführen. Die Oberflächen müssen wegen einer guten Entformung poliert sein. Ein Kanaldurchmesser von angeschnittener Wandstärke **$s + 1,5 \text{ mm}$** ist üblicherweise ausreichend.

Bei der Gestaltung des Verteilersystems ist darauf zu achten, daß unterschiedliche Fließweglängen zu ungleichmäßigen Härtungsverläufen führen können. Dies macht sich dadurch bemerkbar, daß oft die am weitesten entfernten Formnester nicht oder nicht ausreichend verdichtet werden (Abfall der mechanischen und thermischen Eigenschaften, Abweichungen in der Maßhaltigkeit) bzw. im Extremfall überhaupt nicht mehr gefüllt werden.

Bei Vielfachwerkzeugen sollte deshalb bei der Angußgestaltung auf gleiche Fließweglänge zu den einzelnen Formnestern geachtet werden (siehe Bild 2). Das Ausgleichen verschiedener Fließweglängen durch unterschiedliche Querschnitte der Anschnitte ist zu vermeiden, da nach

relativ kurzer Zeit durch Verschleiß der engeren Kanäle völlig undefinierte Verhältnisse auftreten können. Außerdem können unterschiedliche Druckverhältnisse in den einzelnen Kavitäten auf diese Art und Weise kaum ausgeglichen werden.

Weiterhin ist darauf zu achten, daß in einer Spritzgußform Formnester mit unterschiedlichen Füllvolumina oder großen Unterschieden in den Wandstärken möglichst vermieden werden.

Bezüglich der Angußgestaltung haben sich bei der Verarbeitung duroplastischer Formmassen folgende Varianten bewährt:

- ◆ Stangenanguß
- ◆ Punktanguß
- ◆ Filmanguß
- ◆ Tunnelanguß

Das direkte Anspritzen mit einem Stangenanguß ist nur für große Formteile (zentrische Anbindung) zu wählen. Nachteilig ist hierbei einmal das starke Aufreißen der Fließfront und damit unkontrollierte Füllstofforientierungen und der zusätzliche Aufwand des Abtrennens der Angußstange. Zur Vermeidung dieser Nachteile sollte in diesem Falle das Spritzprägen bevorzugt werden.

Für die Gestaltung des Punkt- und Filmangusses gelten die gleichen Konstruktionsrichtlinien wie bei Thermoplasten.

Der Tunnelanguß ist für Kleinteile mit einer Wandstärke von ca. 3 mm besonders vorteilhaft einzusetzen. Der Anspritzwinkel sollte dabei 45° - 50° betragen, da bei flacherem Winkel die Gefahr des Abreißen (Verschleiß des Anschnittes durch Angußreste bzw. Verstopfen des Angußpunktes!) besteht. Als Richtwert für den Durchmesser des Angußpunktes sind 1,0 bis 2,5 mm anzunehmen. Für flache Teile ist der Tunnelanguß allerdings nicht geeignet.

Werden mineralisch gefüllte duroplastische Formmassen verarbeitet, ist bei der Werkzeugkonstruktion darauf zu achten, daß das Angußsystem als Einsatz ausgearbeitet wird, um bei Verschleiß einen schnellen Austausch zu gewährleisten. Die einzelnen Angußarten und die Gestaltung der Angußstange sind im Bild 3 dargestellt.

3.2 Werkzeugstähle

Für die Verarbeitung von rieselfähigen duroplastischen Formmassen ist bei der Verwendung von Einsatzstählen darauf zu achten, daß nur solche verwendet werden die auch bei den üblichen Temperaturen von 150 – 200 °C noch keine Gefügeveränderungen erfahren. Am häufigsten werden von dieser Gruppe die Stähle 21 Mn Cr 5 (Werkstoff-Nr.: 1.2162) und X 19 Ni Cr Mo 4 (Werkstoff-Nr.: 1.2764) verwendet.

Der Einsatz von durchgehärteten bzw. vergüteten Stählen hat sich bei der Verarbeitung von Phenolharz-, Melamin- bzw. Melamin – Phenol -, Polyester- und Melamin – Polyester – Formmassen sehr gut bewährt.

Eine Auswahl der gebräuchlichsten Stahlsorten ist in Tabelle 3 zusammengestellt.

3.3 Beheizung der Werkzeuge

Zur Erzielung konstanter Werkzeugtemperaturen und Vermeidung des Aufheizens der Maschine sind Wärmeisolationsplatten mit ausreichender Stärke (≥ 8 mm) zwischen Werkzeug und Aufspannplatte anzubringen. Die Druckfestigkeiten dieser Isolationsplatten müssen ent-

sprechend des Druckaufbaus in der Maschine ausreichend hoch sein, auf geringe Feuchtaufnahme ist zu achten.

Die Beheizung der Werkzeuge erfolgt durch elektrische Widerstandsheizung entweder mit Heizbändern oder durch Heizpatronen. Mit Hilfe von Heizpatronen erreicht man die beste Werkzeugtemperierung und eine sehr gleichmäßige Temperaturverteilung. Die Anordnung der Heizpatronen ist ähnlich wie die Anordnung der Kühlkanäle bei Thermoplastwerkzeugen zu wählen. Die Heizleistung kann überschlägig mit folgender Formel berechnet werden:

$$P = \frac{m \cdot c \cdot T}{t}$$

P = Heizleistung (kW)

m = Masse des Werkzeuges (kg)

c = spezifische Wärme des Werkzeugstahls (kWh / kg K)

T = Temperaturdifferenz (K)

t = Aufheizzeit (h)

(ungefähre Heizleistung: P = ca. 20 W / kg Werkzeugmasse)

Zu hoch ausgelegte Heizleistungen sind zu vermeiden, da sie einmal zu hohe Anschlußwerte erfordern und zum anderen zu Werkzeugüberhitzungen bzw. Werkzeugschädigungen infolge Verklemmungen führen können. Zu gering ausgelegte Heizungen erreichen entweder die erforderliche Temperatur überhaupt nicht oder ergeben zu lange Aufheizzeiten. Bei der Auslegung der Heizung ist etwa von einer Aufheizzeit von 60 Minuten auszugehen.

Die Fühler für die Temperaturregelung sind in der Nähe der Kavitäten aber nicht unmittelbar über einer Heizpatrone zu plazieren.

Die elektronischen Temperaturregler müssen die Werkzeugtemperaturen entsprechend der zulässigen Temperaturdifferenzen regeln. Für sehr hohe Ansprüche (hohe Maßgenauigkeiten; sehr schnell härtende Formmassen usw.) soll die Werkzeugtemperatur auf $\pm 2^\circ \text{C}$ örtlich und zeitlich konstant gehalten werden, schlechtere Regelgenauigkeiten als $\pm 5^\circ \text{C}$ sind zu vermeiden. Weiterhin sind die Temperaturregler so abzugleichen, daß die angezeigten Istwerte möglichst genau mit den tatsächlich gemessenen Temperaturen übereinstimmen.

3.4 Gestaltung der Auswerfer

Auswerfer sind im Interesse einer guten Entformung in den einzelnen Kavitäten in ausreichender Anzahl vorzusehen. Bei flachen Kavitäten sollten die Auswerfer einen Konizität von $0,5^\circ$ und im Falle von tieferen Kavitäten oder langen Auswerfern kann diese Größe bei $1 - 2^\circ$ liegen. Außerdem sind Auswerfer so zu gestalten, daß sie sich selbst reinigen.

Zur Vermeidung von zu hohen Auswerferkräften, sind die Auswerferstifte zu polieren.

3.5 Entlüftung der Werkzeuge

Auf die richtige Entlüftung von Werkzeugen kann nicht eindringlich genug hingewiesen werden, da viele Formteilfehler gerade durch dieses Problem verursacht werden. So muß beim Einspritzen der Formmasse in das geschlossene Werkzeug einmal die vorhandene Luft verdrängt werden und zum anderen müssen die bei der Härtung (Polykondensation) entstehenden gasförmigen Stoffe (vor allem Wasserdampf) aus dem Werkzeug entweichen können.

Zur Vermeidung von Entlüftungsproblemen haben die Auswerfer (kleine Entlüftungsschlitze an den äußeren Rundungen vorsehen!) eine wichtige Funktion, sie sind möglichst auch gezielt dort einzusetzen. Desweiteren sind unbedingt an den Fließwegenden und an Zusammenflußstellen Möglichkeiten der Entlüftung eventuell über Entlüftungsschlitze vorzusehen. Die Entlüftungsschlitze müssen so gestaltet sein, daß ein Hängenbleiben von Grat vermieden wird (polieren, verchromen, Anbringen eines Auswerfers). Das Hängenbleiben von Grat macht sich oft dadurch bemerkbar, daß nach einer ganzen Reihe von einwandfreien Einspritzungen plötzlich ein unzureichendes Füllen einzelner Formnester bei Mehrfachwerkzeugen eintritt. Als Richtwert für die Größe der Entlüftungsschlitze ist eine Tiefe von 0,02 – 0,05 mm und eine Breite von 3 – 5 mm anzunehmen.

3.6 Entformungsschrägen

Zur Gewährleistung einer einwandfreien Entformung des Formteils, sind alle in Entformungsrichtung liegenden Flächen mit einer Entformungsschräge zu versehen. Nach der VDI – Richtlinie 2001 werden folgende Werte empfohlen:

MF, MPF, PF :	1 – 2 Grad
UP :	2 – 3 Grad

Bei optimal gestalteten Werkzeugen können diese Richtwerte oft erheblich unterschritten werden, ohne daß Probleme bei der Entformung auftreten.

3.7 weitere Hinweise zur Werkzeuggestaltung

Siehe hierzu die Abbildungen 4 und 5.

Ecken und Radien:

Auf Grund der hohen Entformungssteife duroplastischer Formteile sind scharfe Kanten zu vermeiden. Es sind vielmehr Radien von $\geq 0,5$ mm oder wenn möglich Rundungen von ≥ 2 mm vorzusehen. Diese Maßnahme bewirkt einmal beim Einspritzen der Formmasse ein leichteres Fließen und damit auch Vermeidung von ungenügend ausgefüllten Ecken und zum anderen in Verbindung mit den Entformungsschrägen eine Erleichterung des Entformungsvorganges.

Versteifungen und Rippen:

Bei der Gestaltung von Rippen sind Wanddicken $< 0,8$ mm wegen der Gefahr des Ab- bzw. Ausbrechens zu vermeiden. Bei zu dick gewählten Rippen kommt es oft zu Oberflächenfehlern infolge Glanzunterschieden oder Einfallstellen, werden sie ungünstig angeordnet tritt außerdem ein ungleichmäßiger Verzug auf.

Hinterschneidungen:

Hinterschneidungen sind zu vermeiden. In den Fällen wo konstruktiv bedingte Durchbrüche erforderlich sind, ist eine aufwendige Entformung mittelst Schiebern oder Backen notwendig. Dies macht einmal die Werkzeuge kompliziert und störanfällig und zum anderen erhöht es die Kosten.

Randgestaltungen:

Die Ränder von Formteilen sind grundsätzlich so zu gestalten, daß ein Abbrechen beim Entformen bzw. Entgraten vermieden wird. Einige Gestaltungshinweise sind im Bild 5 gegeben.

Löcher, Durchbrüche und Schlitze:

Da man Löcher und Durchbrüche durch Kerne bzw. Stifte, die von der Formmasse umflossen werden, formt, besteht die Gefahr des Ausbrechens, wenn sie sich zu dicht am Rand befinden. Hier ist es günstiger entweder den Abstand vom Rand zu vergrößern oder einen Schlitz bis an den Rand zu führen.

Weiterhin kommt es zu Ausbrüchen, wenn ungenügende Randdicken von Löchern vorgesehen werden.

3.8 Beschichten von Werkzeugen

Die Notwendigkeit der Beschichtung von Werkzeugen für die Verarbeitung von duroplastischen Formmassen mit sogenannten Hartstoffschichten ist aus den nachfolgenden Gründen dringend zu empfehlen:

- ✓ Verminderung des abrasiven Verschleißes durch hohe Füllstoffanteile (anorganisch; Glasfaser)
- ✓ Vermeidung oder Reduzierung des Verschmutzens der Werkzeugoberfläche durch Belagbildung
- ✓ Verbesserung des Entformungsverhaltens durch Vermeidung des Klebens im Werkzeug
- ✓ Vermeidung der Werkzeugkorrosion durch die beim Härtingsprozeß entstehenden Spaltprodukte

Als älteste Form der Hartstoffbeschichtung ist die galvanische Hartverchromung zu nennen, die erzielbare Schichthärte liegt hier bei 800 – 1100 HV und als Schichtdicke sind 30 – 50 µm zu empfehlen, die Badtemperaturen liegen bei 55 – 60 °C. Als moderne Beschichtungsverfahren wurden in den letzten Jahren das sogenannte PVD -, CVD – bzw. Plasma – CVD – Verfahren entwickelt. Beim PVD – Verfahren (**Physical Vapour Deposition**) werden die Schichten durch physikalische Abscheidung aus der Dampfphase (200 – 500 °C) aufgebracht. Das CVD – Verfahren (**Chemical Vapour Deposition**) arbeitet ähnlich wie das PVD – Verfahren, d.h. die Feststoffe werden zunächst aus der Dampfphase abgeschieden und anschließend mittelst chemischer Reaktion in verschleißfeste Verbindungen umgewandelt. Nachteilig können sich hier die hohen Arbeitstemperaturen von 500 – 1100 °C auf das Werkzeuggefüge auswirken. Das Plasma – CVD – Verfahren ist gut für temperaturempfindliche Bauteile geeignet, da bei Temperaturen < 300 °C durch elektrische Entladung im thermischen Plasma oder mit kaltem Plasma bei verminderten Druck gearbeitet wird. Von den modernen Hartstoffbeschichtungen sind für eine ganze Reihe duroplastischer Formmassen CrN – Schichten gut geeignet. Die Auswahl der geeigneten Hartstoffschicht für die jeweilige Formmasse sollte in Zusammenarbeit mit dem Hersteller dieser Schichten erfolgen.

II. Preßverarbeitung von duroplastischen Formmassen

Für die Preßverarbeitung sind prinzipiell alle rieselfähigen duroplastischen Formmassen geeignet. Um jedoch eine wirtschaftliche Verarbeitung zu erzielen, sind solche Formmassen zu verwenden, die hinsichtlich Fließ- und Härungsverhalten speziell für das Preßverfahren eingestellt wurden.

Die Dosierung der Formmasse in das Werkzeug erfolgt entweder volumetrisch oder gewichtsmäßig. Dabei kann das Material lose und tablettiert mit oder ohne Vorwärmung bzw. vorplastifiziert in das Werkzeug eingebracht werden. Wird das Werkzeug geschlossen, erweicht die Formmasse unter dem Einfluß von Druck und Wärme und füllt die Kavität aus. Nach Ablauf der notwendigen Härtezeit, die von der Wandstärke des Formteils, von der Werkzeugtemperatur, von der Vorbehandlung und Reaktivität der Formmasse abhängt, wird das fertige Formteil entnommen. Je nach Losgröße kann die Preßverarbeitung im Handbetrieb, halb- oder vollautomatisch erfolgen. Mit dem Preßverfahren können vor allem orientierungs- und verzugsarme Formteile hergestellt werden.

Als Preßwerkzeuge werden heute in der Regel sogenannte Tauchkantenwerkzeuge eingesetzt, diese ermöglichen bei optimaler Verdichtung eine sichere maßliche Fertigung von Formteilen. Über die Gestaltung der Werkzeuge und Auswahl der Werkzeugstähle gelten sinngemäß die Aussagen, die bei der Spritzgießverarbeitung bereits getroffen wurden.

Die Parameter zur Verarbeitung von rieselfähigen duroplastischen Formmassen der RASCHIG GmbH im Preßverfahren sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 1: Duroplastische Formmassen Verarbeitungshinweise – Spritzgießen

Formmasse	RESINOL	RALUPOL	MELOPAS	AMPAL
Zylindertemperaturen				
Einzugszone	Raumtemp.	Raumtemp.	Raumtemp.	Raumtemp.
Zone 1 (Förderzone)	60 – 80 °C	50 – 70 °C	70 – 90 °C	50 – 75 °C
Zone 2 (Düsenzone)	80 – 100 °C	80 – 100 °C	90 – 100 °C	80 – 100 °C
Massetemperatur bei Austritt aus der Düse	105 – 115 °C	100 – 115 °C	100 – 115 °C	100 – 115 °C
Schneckendrehzahl	70 – 100 U/min	70 – 100 U/min	80 – 120 U/min	80 – 120 U/min
Staudruck	5 – 15 bar	10 – 15 bar	8 – 12 bar	8 – 12 bar
Nachdruck bezogen auf den Spritzdruck	50 – 70 %	60 – 80 %	60 – 80 %	80 – 100 %
Nachdruckzeit	2 – 8 s	10 – 20 s	10 – 15 s	10 – 20 s
Werkzeugtemperaturen	165 – 185 °C	165 – 185 °C	165 – 185 °C	165 – 185 °C
Härtezeit *)	10 – 100 s	10 – 100 s	10 – 100 s	10 – 100 s
Bemerkung	Spritzaggregat nach Ablauf der Nachdruckzeit + Dosierzeit zurückfahren			

*) weitgehend unabhängig von der Wandstärke

Tabelle 2: Duroplastische Formmassen Verarbeitungshinweise – Preßverfahren

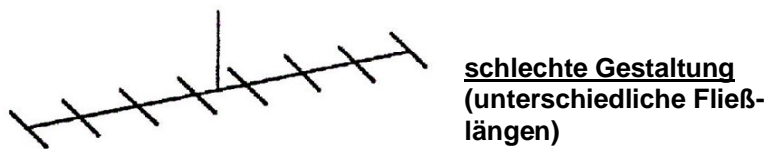
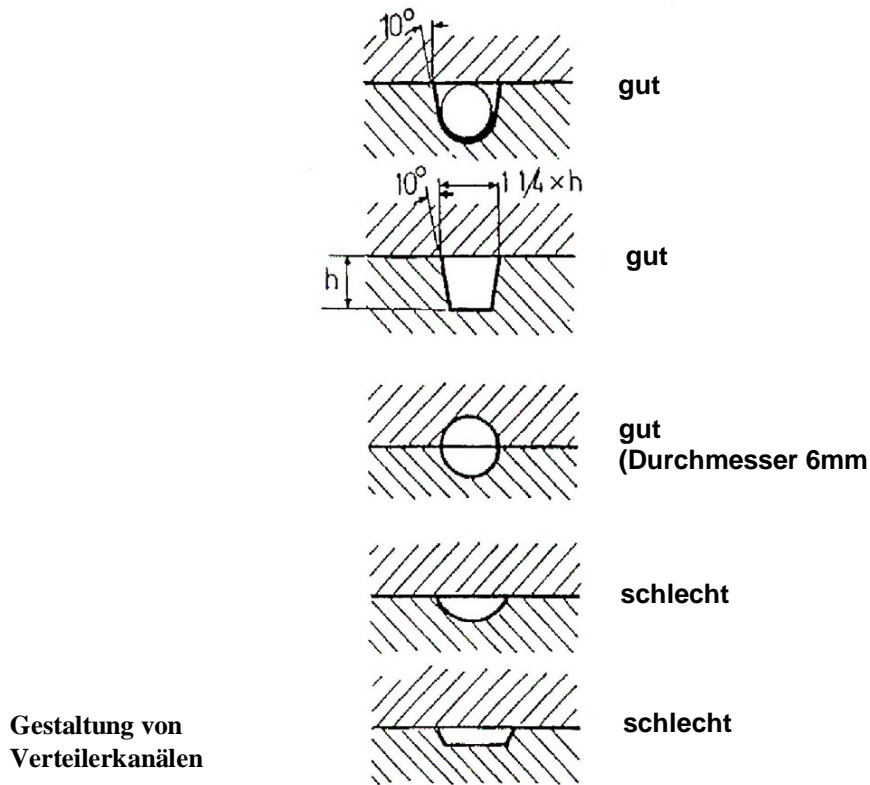
Formmasse	RESINOL	RALUPOL	MELOPAS	AMPAL
Formnesttemperatur	165 – 180 °C	165 – 180 °C	160 – 180 °C	160 – 180 °C
Forminnendruck	mind. 200 bar	mind. 100 bar	mind. 200 bar	mind. 100 bar
Härtezeit pro mm Wandstärke ¹⁾	20 – 50 s	10 – 35 s	20 – 50 s	20 – 50 s

¹⁾ die Härtezeiten sind von der Vorbehandlung (Vorwärmung; Vorplastifizierung) des Materials abhängig.

Die angegebenen Verarbeitungshinweise in den Tabellen 1 und 2 stellen nur Richtwerte dar, sie können im Einzelfall abhängig vom Maschinentyp bzw. Formteil abweichen.

Tabelle 3: Gebräuchliche Stähle für den Werkzeugbau (eine Auswahl)

Werkstoff - Nummer	Bezeichnung nach DIN	Zusammensetzung (%)								Bemerkungen	Anwendungen
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	S		
1.2162	21 MnCr5	0,21	0,25	1,25	1,20					gute Verschleißbeständigkeit, gut polier- und bearbeitbar, narb- und verchromungsfähig	hochglanzpolierte Werkzeuge
1.2764	X 19NiCrMo4	0,19	0,25	0,40	1,25	0,20	4,00			gute Zähigkeit, gut polier- und bearbeitbar, narb- und verchromungsfähig	hochbeanspruchte, komplizierte Formen
1.2767	X 45NiCrMo4	0,45	0,25	0,40	1,35	0,25	4,00			hohe Zähigkeit, gut polierbar, maßänderungsarm, fotoätzbar, erodier- und nitrierbar	Formenstahl
1.2083	X 42Cr13	0,42	0,40	0,30	13,00					verschleißfest, korrosionsbeständig, sehr gut polierbar, hohe Maßstabilität bei Wärmebehandlung	Formenstahl
1.2379	X 155CrVMo121	1,55	0,30	0,30	12,00	0,70		1,00		gute Anlaßbeständigkeit, verschleißbeständig, gute Zähigkeit, nitrierbar, schlecht polierbar	Schnecken, Spritzgieß- und Preßwerkzeuge, Schließleisten
1.2311	40 CrMnMo7	0,40	0,30	1,50	1,90	0,20				zäh, polierbar, narb- und erodierbar, nitrierfähig, maßänderungsarm	Formenbaustahl, Formen mit strukturierter Oberfläche
1.2312	40 CrMnMoS86	0,40	0,40	1,50	1,90	0,20			0,06	gut zerspanbar, zäh, polierbar, nicht narb- und verchromungsfähig, maßänderungsarm	Formenrahmen
1.2343	X 38CrMoV51	0,38	1,00	0,40	5,30	1,20		0,40		gute Anlaßbeständigkeit, hohe Verschleißfestigkeit, nitrier- und polierbar	Schnecken, Werkzeuge
1.1730	C45W3	0,45	0,30	0,70						unlegierter Werkzeugstahl mit guter Zähigkeit und Bearbeitbarkeit	Formenrahmen, Werkzeuggestelle



Verteilersysteme bei Mehrfachwerkzeugen

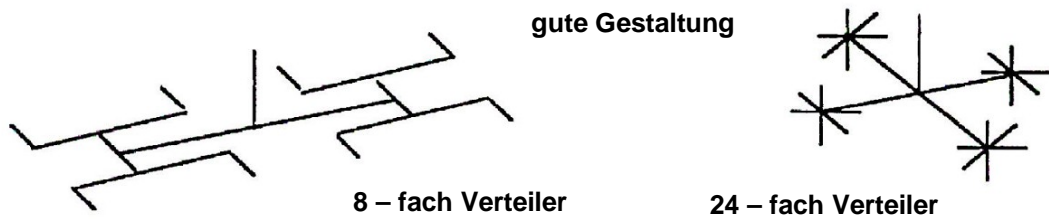
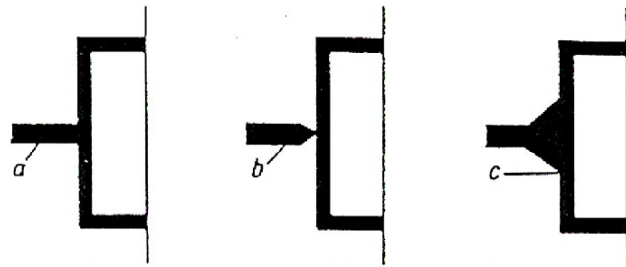


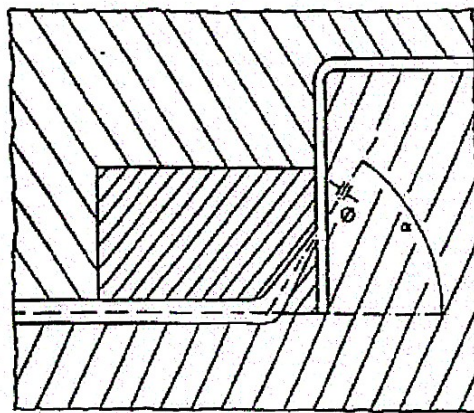
Bild 2 Verteilersysteme



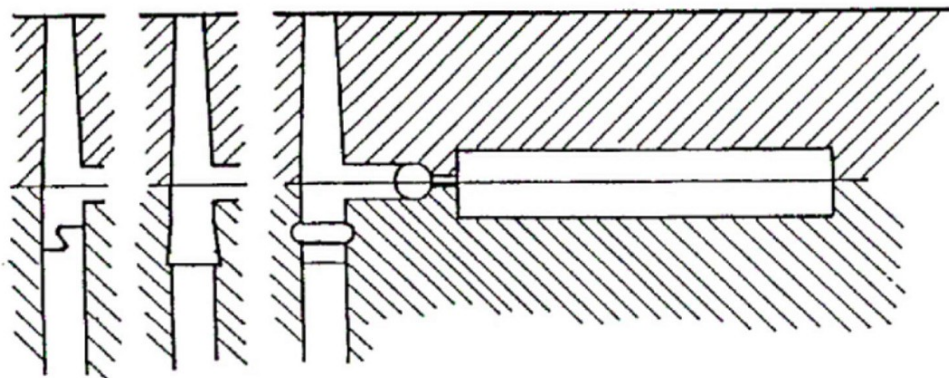
a = Stangenanguß

b = Punktanguß

c = Filmanguß



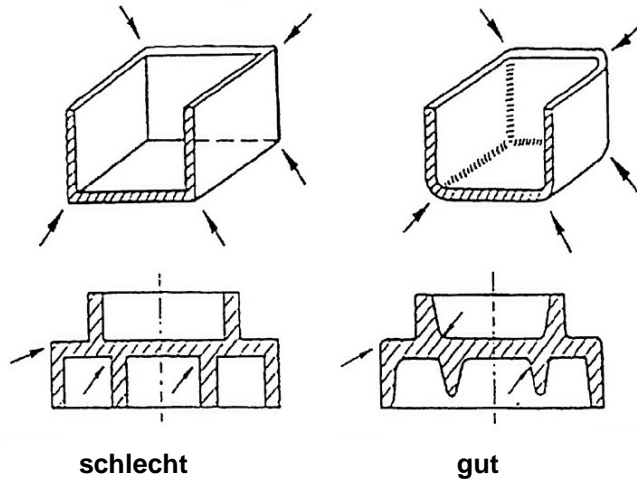
Tunnelanguß $\varnothing = 1,0 - 2,5 \text{ mm}$
 $\alpha = 45 - 55^\circ$



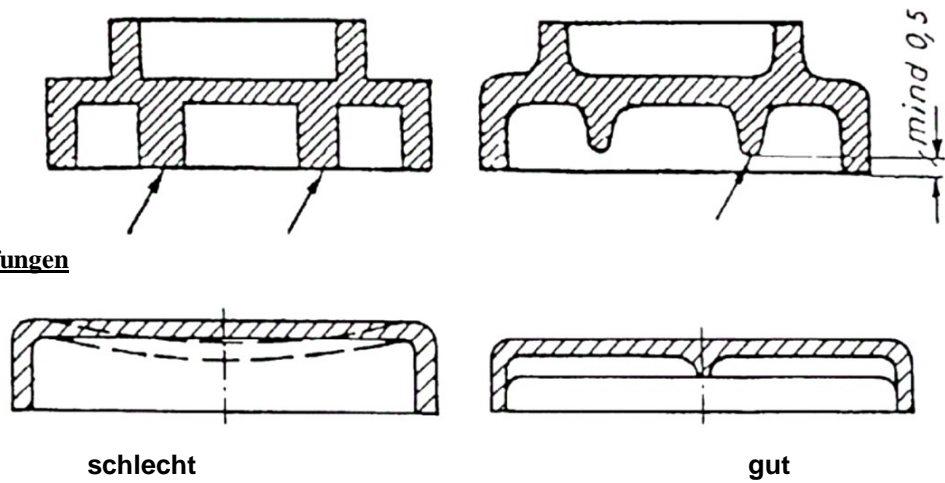
Gestaltung der Angußstange

Bild 3 Angußarten und Gestaltung der Angußstange

scharfe Kanten vermeiden !!



Rippen und Versteifungen



Hinterschnidungen

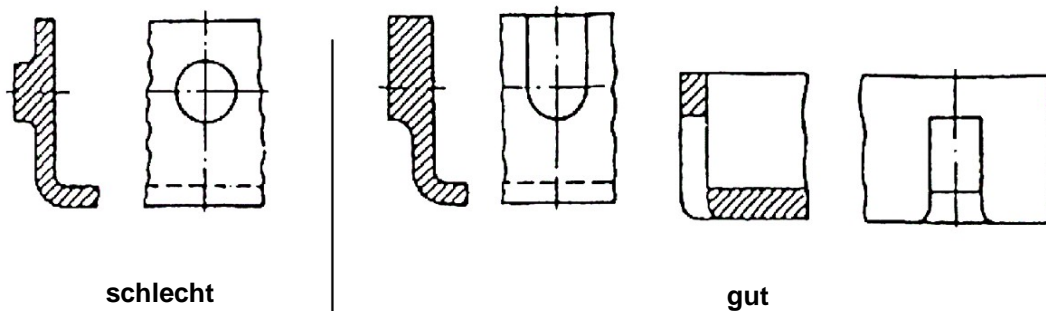
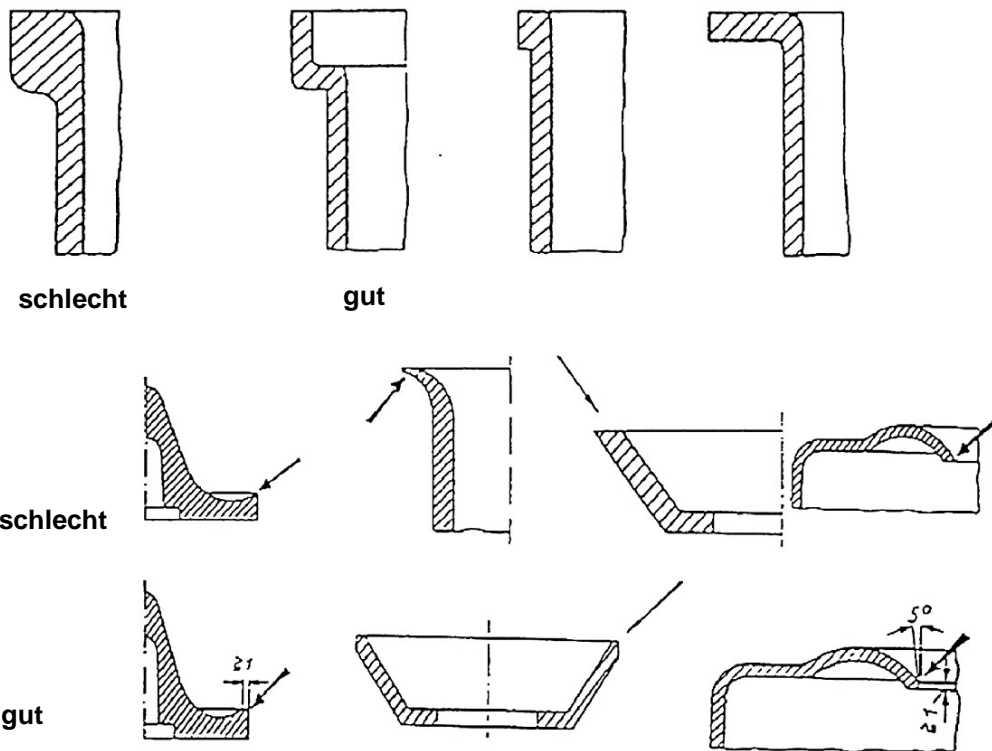
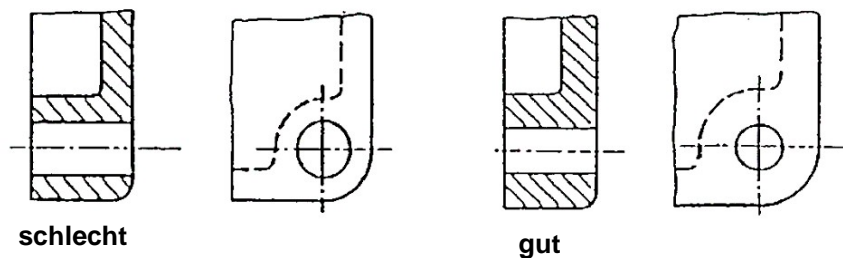
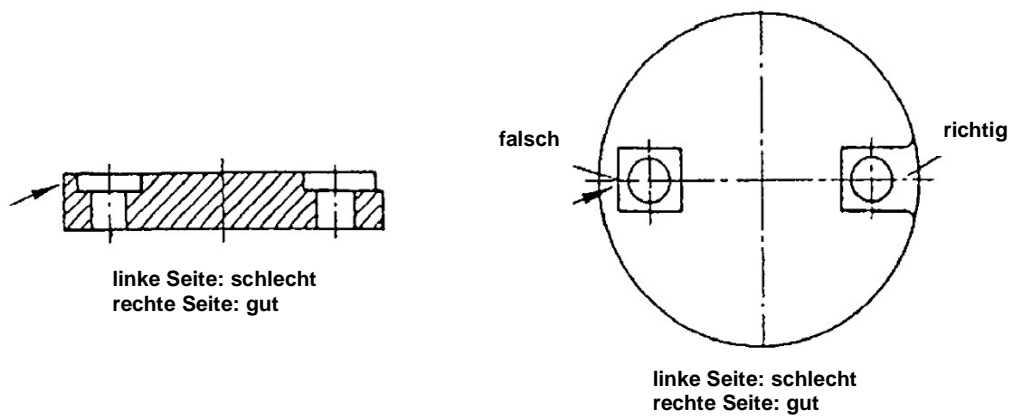


Bild 4 Werkzeuggestaltung



Scharfe Kanten vermeiden!



Gestaltung von Durchbrüchen und Löchern

Bild 5 Werkzeuggestaltung