

HANSER

Leseprobe

John Philip Beaumont

Auslegung von Anguss und Angusskanal

Spritzgießwerkzeuge erfolgreich einsetzen

Übersetzt von Harald Sambale

ISBN: 978-3-446-42759-4

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-42759-4>

sowie im Buchhandel.

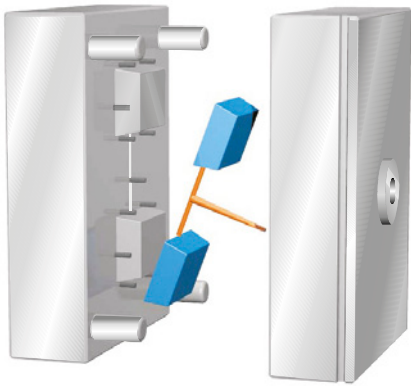


BILD 1.1
Geöffnetes Zweiplatten-Werkzeug,
während die Formteile und der Anguss
ausgeworfen werden

abgekühlt und aus dem Werkzeug ausgeworfen. Die Kunststoffschmelze wird durch das Angusssystem und den Anschnitt in die Kavität eingespritzt. Anschließend wird die Schmelze im Werkzeug abgekühlt. Sobald das Material erstarrt, öffnet sich das Werkzeug und der Anguss und das Bauteil werden an der primären Trennebene entformt. Das Bild 1.1 zeigt die Lage des Angusssystems innerhalb des Werkzeugs und den Auswurfvorgang in der primären Trennebene. Zu beachten ist, dass das Bauteil und der Anguss in der gleichen Trennebene geformt und ausgeworfen werden.

Nachdem das Formteil und der Anguss ausgeworfen sind, schließt sich das Werkzeug wieder. Dabei bildet sich ein Fließkanal, der von der Maschinendüse bis zur Kavität verläuft. Da dieser Fließkanal sich in der gleichen Trennebene wie die Kavität befindet, kann das Spritzgießteil nur am Rand angespritzt werden. Bei Tunnelanschnitten befindet sich der Anspritzpunkt in geringem Abstand vom Bauteilrand (siehe Kapitel 8.4).

■ 1.2 Angusssysteme in einer parallelen Trennebene

Eine zweite Möglichkeit besteht darin, dass das Angusssystem nicht in der Trennebene des Werkzeugs, sondern parallel dazu verläuft. Diese Angusssysteme können in Kaltkanal- oder Heißkanalwerkzeugen verwendet werden.



BILD 1.2
Dreiplatten-Kaltkanal-
werkzeug mit sekundärem
Angusskegel, der die Kavi-
täten mit Schmelze ver-
sorgt

1.2.1 Kaltkanalsysteme

In einem Dreiplatten-Kaltkanalwerkzeug verläuft der Angusskanal in einer zweiten Trennebene, also außerhalb der Trennebene, in der das Spritzgießbauteil geformt wird. Die beiden Trennebenen liegen parallel zueinander und werden durch eine oder mehrere Werkzeugplatten voneinander getrennt. Der Angusskanal und die Kavität werden durch einen sekundären Angusskegel verbunden. Der sekundäre Angusskegel durchquert die Werkzeugplatte und verbindet die Kavität mit einem Anschnitt. Sekundärverteiler sind normalerweise parallel zur Öff-

nungsrichtung des Werkzeugs und im rechten Winkel zum Angusskanal angeordnet.

Während des Spritzgießens erstarrt die Schmelze im Angusskanal und in der Kavität. Anschließend öffnet sich das Werkzeug an beiden Trennebenen. Das Bauteil wird an der primären Trennebene ausgeworfen, der Angusskanal (mit Sekundärverteiler und Anguss) wird an der zweiten Trennebene ausgeworfen (siehe Bild 1.3).

Diese Werkzeuge werden als Dreiplatten-Kaltkanalwerkzeuge bezeichnet. Die Begriffe Zweiplatten- und Dreiplatten-Kaltkanalwerkzeuge beziehen sich auf die Mindestanzahl von Werkzeugplatten, die erforderlich sind, um das Bauteil und den Anguss zu entformen. Bei Zweiplatten-Kaltkanalwerkzeugen werden Bauteil und Anguss zwischen der ersten und zweiten Platte geformt und ausgeworfen. Bei Dreiplatten-Kaltkanalwerkzeugen wird das Bauteil zwischen der ersten und zweiten Platte geformt und entfernt, Angussverteiler und Anguss werden zwischen einer dritten Platte und der zweiten Platte, die zur Bauteilformung dient, geformt und ausgeworfen.

Diese Werkzeugbauweise kommt zum Einsatz, wenn der Anschnitt nicht am Bauteilrand liegen soll. Sie wird meistens für Spritzgießteile genutzt, bei denen in der Bauteilmitte angespritzt werden soll.

1.2.2 Heißkanalsysteme

Eine zweite Variante von Werkzeugen, bei denen das Angussystem parallel zur Trennebene angeordnet ist, sind Heißkanalwerkzeuge. Sie bieten die gleiche Flexibilität wie Dreiplattenwerkzeuge mit Kaltkanalsystem. Anders als beim Kaltkanalsystem bleibt jedoch der Kunststoff, der sich im Angussystem befindet, im geschmolzenen Zustand und wird zwischen den Spritzgießzyklen nicht ausgeworfen. Die Auslegung von Heißkanalsystemen ist komplexer als die von Kaltkanalsystemen. Die Auslegung und die Unterschiede zu Kaltkanalsystemen werden in Kapitel 9 behandelt.

Das Bild 1.4 zeigt zwei Varianten eines Heißkanalsystems. Die Schmelze fließt durch einen heißen Verteiler, der normalerweise parallel zu den Aufspannplatten der Spritzgießmaschine verläuft. Die Schmelze wird aus dem Verteiler durch eine Düse

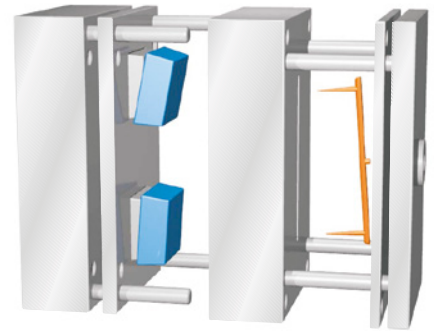


BILD 1.3

Geöffnetes Dreiplatten-Kaltkanalwerkzeug; die Formteile werden an der ersten Trennebene, der Anguss an der zweiten Trennebene ausgeworfen

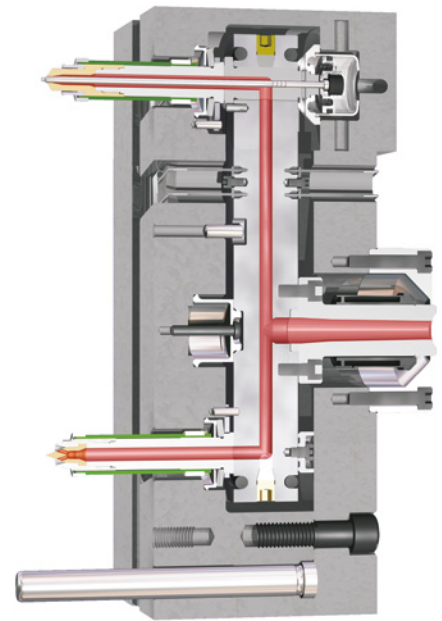


BILD 1.4

Extern beheiztes Heißkanalsystem mit Darstellung der Verteiler und Düsen. Die Abbildung zeigt zwei Düsenarten: die obere Düse verfügt über eine Verschlussdüse, die untere hat eine konventionelle offene Düse (Bild: Husky)

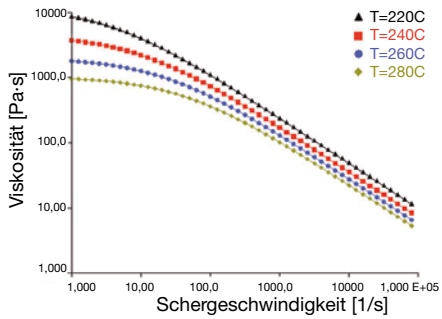


BILD 2.6

Grafische Darstellung der Viskosität von Kunststoff in Abhängigkeit von der Schergeschwindigkeit nach dem modifizierten Cross-Viskositätsmodell

Potenzgesetz-Modell:

$$\eta = m \dot{\gamma}^{n-1} \quad (2.6)$$

Mit:

η = Viskosität

m = Konsistenz

$\dot{\gamma}$ = Schergeschwindigkeit

n = Potenzgesetz-Index

Das folgende Viskositätsmodell führt zu der in Bild 2.6 dargestellten Beziehung zwischen Viskosität und Schergeschwindigkeit.

Modifiziertes Cross-Modell:

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau^*} \right)^{(1-n)}} \quad (2.7)$$

$$\eta_0 = D_1 e^{\left[\frac{-A_1 (T-T^*)}{A_2 + (T-T^*)} \right]} \quad (2.8)$$

Mit:

$$\tau^* = D_2 + D_3 P$$

P = Druck

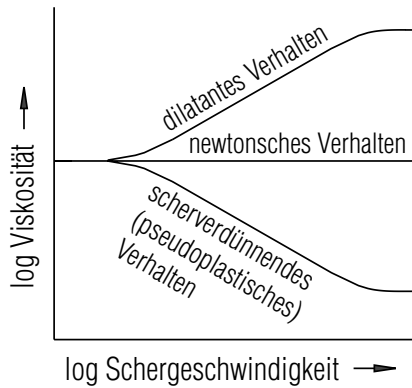
η = Viskosität

$\dot{\gamma}$ = Schergeschwindigkeit

T = Temperatur in Kelvin

Die Unbekannten sind $D_1, D_2, D_3, A_1, A_2, \tau^*, n$

Das modifizierte Cross-Modell hat gegenüber dem Potenzgesetz-Modell den Vorteil, dass es nicht auf eine lineare Beziehung zwischen Schergeschwindigkeit und Viskosität beschränkt ist. Es gibt zahlreiche weitere Modelle, die jeweils spezielle Stärken und Schwächen aufweisen. Einige Materialien haben bestimmte Eigenschaften die sich mit speziellen Modellen am besten darstellen lassen. Das Potenzgesetz-Modell gilt als das einfachste Modell. Allerdings ist es damit nur begrenzt möglich, die Viskosität eines Polymers unter breit gefächerten Verarbeitungsbedingungen darzustellen. Dieses Modell funktioniert recht gut bei hohen Schergeschwindigkeiten. Es wird in den heute am

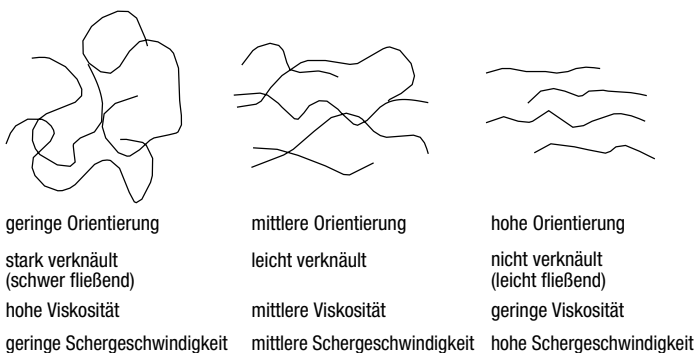
**BILD 2.7**

Darstellung der Viskosität in Abhängigkeit von der Schergeschwindigkeit für newtonsche, dilatante und scherverdünnende (pseudoplastische) Fluide

komplexer. Bei sehr niedrigen Schergeschwindigkeiten zeigen Kunststoffe im Wesentlichen ein newtonsches Viskositätsverhalten. Treten wie beim Spritzgießen höhere Scherraten auf, zeigen sie ein nicht-newtonsches Viskositätsverhalten, und folgen dem Potenz-Gesetz, da die Viskosität mit steigenden Schergeschwindigkeiten abnimmt. Die meisten Kunststoffe weisen also ein pseudoplastisches nicht-newtonsches Fließverhalten auf. Die Viskosität pseudoplastischer nicht-newtonschener Fluide sinkt mit zunehmenden Schergeschwindigkeiten. Im Gegensatz dazu steigt die Viskosität bei dilatant nicht-newtonschener Fluiden mit steigender Schergeschwindigkeit. Das Bild 2.7 stellt die Merkmale der newtonschen, pseudoplastischer nicht-newtonschener und dilatant nicht-newtonschener Flüssigkeiten gegenüber.

Die Viskosität einer pseudoplastischen nicht-newtonschener Flüssigkeit verringert sich durch Scherkräfte, die die Polymerketten orientieren. Da die Ketten ausgerichtet werden, reduziert sich ihre Verschlaufung untereinander (siehe Bild 2.8). Die Ketten gleiten leichter aneinander vorbei. Aufgrund dieses nicht-newtonschener Verhaltens der Kunststoffe wird beim Spritzgießen die Viskosität umso niedriger, je schneller das Material in das Werkzeug eingespritzt wird. Im Gegensatz zu newtonschener Flüssigkeiten kann sich der Druck verringern, wenn das Polymer schneller fließt. Beim Spritzgießen kann daher mit einer kürzeren Einspritzzeit – also einer höheren Fließgeschwindigkeit – das Werkzeug möglicherweise bei geringerem Druck gefüllt werden.

Auswirkung steigender Schergeschwindigkeit auf Viskosität und Orientierung

**BILD 2.8**

Auswirkungen der Scherung während des Fließens auf die Orientierung der Polymere und die Viskosität

Die Beziehung von Schergeschwindigkeit und Viskosität wird in der Regel mit einem doppellogarithmischen Diagramm dargestellt (siehe Bild 2.7). Das Bild 2.9 zeigt die Wirkung der Schergeschwindigkeit auf die Viskosität eines Kunststoffs ohne logarithmische Skala. Diese nicht-logarithmische Darstellung veranschaulicht die deutliche Viskositätsverringering, die auftritt, wenn das Material geschert wird.

Wenn das Material nicht mehr fließt, verschwindet die Scherbelastung und das Polymer kehrt in einen regellosen hochviskosen Zustand zurück, vorausgesetzt, es bleibt im Schmelzezustand.

Diese Rückkehr zu einem regellosen Zustand wird in erster Linie durch die Entropie ausgelöst und erzeugt einen elastischen Effekt in der Polymerschmelze. Dieses Verhalten ist in gewisser Weise vergleichbar mit Gummibändern, die in einen gedehnten Zustand gebracht werden. Solange die Dehnkraft anhält, bleiben die Gummibänder orientiert. Allerdings kehren die Gummibänder, sobald sie losgelassen werden, sofort wieder in ihren unorientierten Zustand mit niedriger Energie zurück.

Die nicht-newtonsche Strukturviskosität sollte nicht mit den Auswirkungen der Reibungswärme verwechselt werden, die beim Fließvorgang entsteht. Reibungswärme verringert die Viskosität zusätzlich, sie ist aber nicht der Grund für die Viskositätsverringern durch Orientierung eines nicht-newtonschen Polymers. Da diese beiden Phänomene gleichzeitig auftreten, wird ihre Wirkung auf die Viskosität häufig miteinander verwechselt.

2.3.3 Temperatur

Neben der Schergeschwindigkeit senkt auch eine Temperaturerhöhung die Viskosität von Kunststoffen. Kunststoffschmelzen bestehen meist aus langen Ketten aus Kohlenstoffatomen. Sehr starke kovalente Bindungen (Primärbindungen) entlang der Kette halten diese Kohlenstoffatome zusammen. Die Polymerketten werden untereinander durch relativ schwache Van-der-Waals-Kräfte (Sekundärbindungen) zusammengehalten. Wenn während der Verarbeitung Wärme zugeführt wird, werden die Primärbindungen geschwächt und die Bindungslängen erhöht. Bei normalen Verarbeitungstemperaturen erlauben diese geschwächten Bindungen eine höhere Bewegungsfreiheit, bleiben aber intakt. Übermäßige Hitze führt dazu, dass diese kovalenten Bindungen vollständig auseinander brechen und das Polymer irreversibel geschädigt wird.

Die sekundären Bindungen verhalten sich unter normalen Verarbeitungstemperaturen deutlich anders. Die Sekundärbindungen werden erheblich geschwächt und bieten wenig Zusammenhalt zwischen den Molekülen. Als Ergebnis trennen sich die Polymerketten voneinander. Der Abstand zwischen den Ketten ist in etwa proportional zur eingeführten Wärme. Der größere Abstand verringert die Wechselwirkung zwischen den Polymerketten, so dass sich der Fließwiderstand und die Viskosität verringern. Unter diesen Bedingungen ermöglichen Entropie

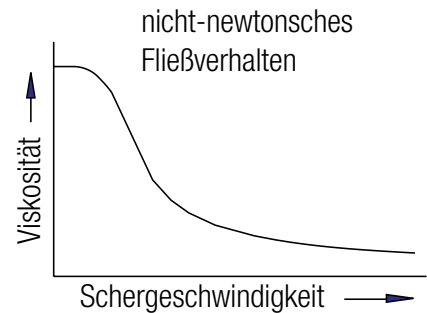


BILD 2.9
Nichtlogarithmische Darstellung des Einflusses der Schergeschwindigkeit auf die Viskosität

Wärme an das Werkzeug zu verlieren als sie durch Schererwärmung aufnehmen kann. Dieser Effekt kann mit einem Einspritzprofil minimiert werden. Dabei wird die zunächst niedrige Einspritzgeschwindigkeit schrittweise erhöht. Allerdings wird der Spritzgießprozess meistens ohne Einspritzprofil durchgeführt.

Unterschiede in der Wanddicke innerhalb eines Bauteils können zu erheblichen Schwankungen der Fließgeschwindigkeit und des daraus resultierenden thermischen Gleichgewichts führen. Dünne Bereiche bieten der Fließfront einen Widerstand und verursachen eine Fließverzögerung, während die Schmelze dickere Bereiche ausfüllt. Die Verzögerung führt dazu, dass die Schmelze schnell Wärme verliert und möglicherweise erstarrt. Dies wird in Abschnitt 4.2.10 ausführlicher erörtert.

3.1.2 Entwicklung einer erstarrten Randschicht

Sowohl die Viskosität des Kunststoffes als auch der Durchmesser des Fließkanals beeinflussen die Füllung einer Werkzeugkavität. Dies wird dadurch noch komplexer, dass sich der tatsächliche Durchmesser des Fließkanals verändert, wenn sich eine erstarrte Schicht bildet. Die Ausbildung der erstarrten Schicht wird durch die Werkzeugtemperatur und insbesondere durch die Fließgeschwindigkeit beeinflusst. Bei hohen Fließgeschwindigkeiten minimiert die Schererwärmung das Wachstum der erstarrten Schicht. Diese Verringerung der erstarrten Schicht vergrößert den Fließkanalquerschnitt. Dies kann eine erhebliche Auswirkung auf den Druckverlauf haben. Der Druckverlust bei einer gegebenen Viskosität und Fließgeschwindigkeit ist umgekehrt proportional zur dritten Potenz der Dicke des Fließkanals (h). Der Einfluss der Fließgeschwindigkeit auf die erstarrte Schicht ist in Bild 3.3 dargestellt.

Die wichtigsten Einflussfaktoren für die Dicke der erstarrten Schicht in einem Formteil sind:

- Die thermischen Eigenschaften des Thermoplasten (Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität und Glasübergangstemperatur),
- die Temperatur von Schmelze und Werkzeug,
- die thermische Eigenschaften des Werkzeugmaterials,
- die lokale Fließgeschwindigkeit und
- die Verweilzeit der Schmelze.

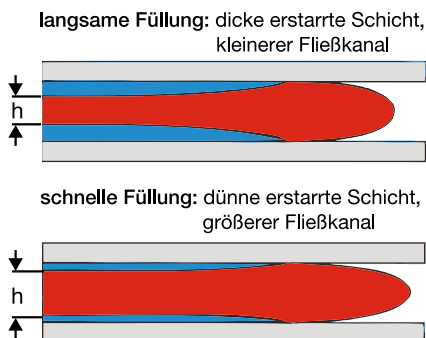


BILD 3.3
Abhängigkeit der Dicke der erstarrten Schicht von der Fließgeschwindigkeit

**BILD 4.11**

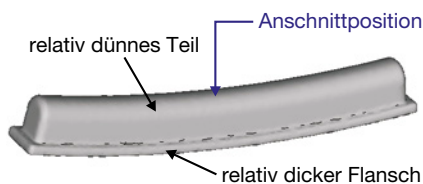
Rechteckige Platte nach dem Spritzgießen (unten) und nach Wärmeeinwirkung (oben). Zu beachten ist die Verformung des Spritzgießteils durch Eigenspannungen, wenn die Polymerketten bei höheren Temperaturen relaxieren

**Beispiel 6**

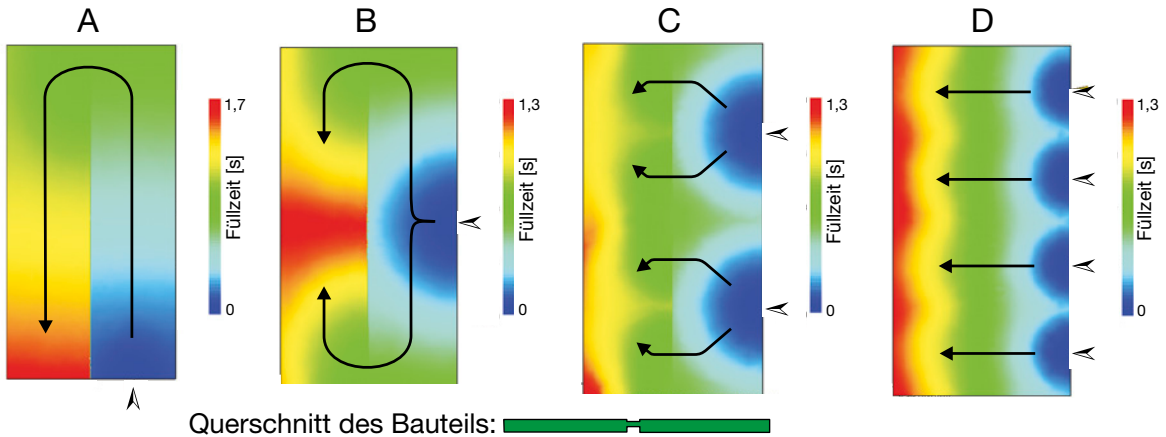
Das rechteckige Teil in Bild 4.11 besteht aus unverstärktem Polycarbonat und wird mit einem seitlichen Anschnitt angespritzt. In einem zweiten Schritt wird an diesem Bauteil eine kleine Metallplatte mit einem thermisch aktivierten Klebstoff befestigt. Während der Anwendung stellte sich heraus, dass sich die Metallplatten ablösen. Da die Bauteile in einem Ofen einer erhöhten Temperatur ausgesetzt wurden, zeigten sich die Eigenspannungen durch Orientierung im Anspritzbereich. Dieser Fall macht die Auswirkung hoher Scherbelastung und radialer Fließmuster auf die Orientierung besonders offensichtlich. Bei höheren Temperaturen verliert das Teil seine Steifigkeit und kann den Eigenspannungen im Anspritzbereich nicht mehr widerstehen. Ein zweites Werkzeug, bei dem das Bauteil vom Ende angespritzt wird, beseitigte dieses Problem.

**Beispiel 7**

Kühlerabdeckungen sind für Montagezwecke mit einem dicken Flansch am Bauteilrand ausgestattet. Der Anschnitt befindet sich in der Regel in der Mitte des oberen Bauteilbereichs. Dadurch werden das Vorauseilen der Schmelze und Lufteinschlüsse als Folge der Verdickung am Rand minimiert. Ohne Berücksichtigung der durch Orientierung ausgelösten Schwindung wäre zu erwarten, dass die Position des verdickten Flanschs dazu führt, dass das Teil sich nach unten verzieht. Die Bauteile wölben sich jedoch fast immer in die entgegengesetzte Richtung (siehe Bild 4.12). Dieser Verzug ergibt sich aus der Kombination aus Füllmuster und faserverstärktem Material. Die radiale Strömung im Anschnittbereich erzeugt sowohl durch Scherung als auch durch Dehnung eine Faserorientierung. Wenn die Schmelze den Flansch erreicht, fließt sie sehr schnell und nahezu linear. Die lineare Strömung richtet die Fasern in Längsrichtung des Flansches aus, so dass die Schwindung in Längsrichtung deutlich reduziert wird. Die Schmelzeströmung im oberen Bereich des Bauteils ist etwas komplexer, da sowohl radiale als auch lineare Bereiche vorhanden sind. Die daraus resultierende geringere Faserorientierung in Längsrichtung im oberen Bauteilbereich ermöglicht eine stärkere Schwindung in Längsrichtung im Vergleich zum Flansch. Dies führt dazu, dass die Enden des Bauteils sich nach oben wölben. Um diesem Verzug entgegenzuwirken, kann das Werkzeug mit einer entgegengesetzten Krümmung ausgestattet wer-

**BILD 4.12**

Typischer Verzug bei Kühlerabdeckungen. Der Verzug entsteht nicht durch den Flansch, sondern durch Orientierung der Glasfasern während der Werkzeugfüllung

**BILD 4.18**

Einfluss der Anschnittposition auf den Füllverlauf bei einem dünnen Filmscharnier



Beispiel 2

Es ist vorteilhaft, den Anschnitt so zu positionieren, dass die Verzögerung des Schmelzflusses am Scharnier minimal ist. Im Idealfall entsteht während der Füllphase eine breite Fließfront, die an der gesamten Länge gleichzeitig auf das Scharnier auftrifft, nachdem alle anderen Bereiche des Bauteils gefüllt wurden. Dies lässt sich in der Praxis nicht immer umsetzen, aber es können Bedingungen erreicht werden, die dem Idealfall nahe kommen. Das Bild 4.18 zeigt die Ergebnisse einer Füllstudie mit vier verschiedenen Anschnittvarianten. Die Variante A ist am ungünstigsten, da sie zu den gleichen Bedingungen wie im Beispiel 1 führt. Die Variante B stellt eine Verbesserung dar, führt aber immer noch zu Fließverzögerung und zu einer geringen Festigkeit des Scharniers im mittleren Bereich in der Nähe des Anschnitts. Variante C führt zu einer weiteren Verbesserung des Schmelzflusses durch das Scharnier, da zwei ausbalancierte Anschnitte am Bauteilrand positioniert wurden. Die Fließverzögerung am Scharnier ist bereits deutlich reduziert. Den fast optimalen Zustand zeigt Variante D, in dem vier Anschnitte dafür sorgen, dass sich eine breite Fließfront bildet, bevor die Schmelze das Scharnier erreicht. Dies verhindert jegliche Fließverzögerung am Scharnier, so dass sich die Orientierung verbessert und sich die Festigkeit des Scharniers erhöht. Der kleine flache Behälter in Bild 4.19 wurde ursprünglich in der Nähe des Scharniers angespritzt (wie in Bild 4.18 B). Dies führte zum vorzeitigen Versagen des Scharniers. Dann wurden zwei Anschnitte am Rand des Spritzgießteils wie dargestellt platziert. Zu beachten ist das gleichmäßige Füllschema auf der dem Scharnier gegenüberliegenden Bauteilseite, das sich aus dieser neuen Anschnittposition ergab.

**BILD 4.19**

Behälter mit Filmscharnier und optimalem Füllmuster

5.7.2 Geometrisch nicht balancierte Anguss-systeme

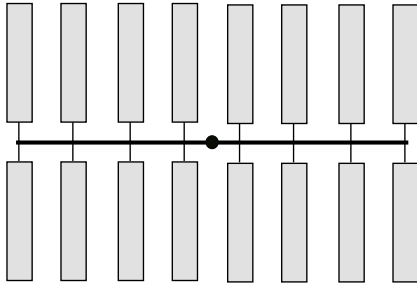


BILD 5.15
Geometrisch nicht ausbalanciertes
16-fach Angussystem. Für die meisten
Anwendungen nicht empfehlenswert

Geometrisch nicht ausbalancierte Angussysteme sind für die meisten Anwendungen nicht empfehlenswert, da im Vergleich zu balancierten Systemen noch größere, nicht korrigierbare Ungleichgewichte auftreten.

Geometrisch nicht ausbalancierte Angussysteme weisen eine Reihenanzordnung auf, die mit Fischgräten vergleichbar ist (siehe Bild 5.15). Diese Ausführungen reagieren sehr empfindlich auf Prozessschwankungen. In der Regel zeigen sie große Abweichungen im Füllverhalten und bei den Schmelzeigenschaften. Dennoch kommen diese Verteiler auch heute noch zum Einsatz, vor allem in Werkzeugen mit hoher Kavitätanzahl für Bauteile mit geringen Präzisionsanforderungen. In Bild 5.16 und 5.17 sind ein ausbalanciertes und ein nicht ausbalanciertes Layout für ein Werkzeug mit 64 Kavitäten gegenübergestellt. Die Gründe für die Verwendung des nicht ausbalancierten Layouts sind, dass weniger Anguss-Regenerat entsteht und es maschinell einfacher hergestellt werden kann. In Heißkanalwerkzeugen vereinfacht es die Bearbeitung und kann verhindern, dass Verteiler in mehreren Ebenen angeordnet werden müssen. Darüber hinaus haben einige Verarbeiter die Erfahrung gemacht, dass die geometrisch ausbalancierte Aufteilung nicht die erwartete Ausgewogenheit lieferte.

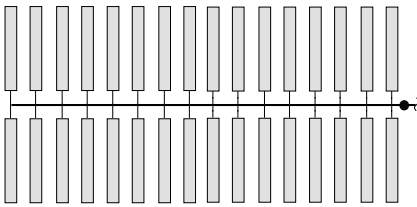


BILD 5.16
Geometrisch nicht ausbalanciertes 64-
fach Werkzeug. Bemerkung: dargestellt
ist eine Hälfte des Layouts

5.7.3 Vergleich des Angussystems mit Reihenanzordnung mit dem geometrisch balancierten Angussystem

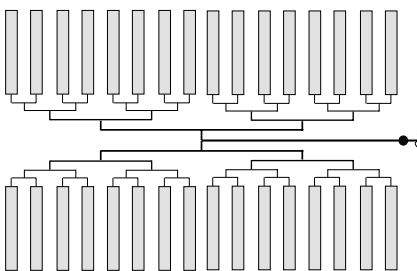


BILD 5.17
Geometrisch ausbalanciertes 64-fach
Werkzeug. Bemerkung: dargestellt ist
eine Hälfte des Layouts

Angussysteme mit Reihenanzordnung sollten vermieden werden, da sie nicht in der Lage sind, ausgewogene Bedingungen für mehrere Kavitäten zu gewährleisten. Die Bauteile werden unter verschiedenen Schmelztemperaturen, Füllgeschwindigkeiten und Drücken hergestellt. Darüber hinaus führt dieses Ungleichgewicht zu einer erhöhten Schließkraft und zu einer Vielzahl von Problemen bei der Verarbeitung. Die »künstliche Balancierung« von Angussystemen mit Reihenanzordnung ist eine trügerische Möglichkeit, das Gleichgewicht herzustellen.

Eine Strategie bei der Gestaltung von Angussystemen mit Reihenanzordnung besteht darin, den primären Fließkanal so groß

Ursache der Abweichung	Merkmale der Abweichung	Lösungsmöglichkeiten
Werkzeugdurchbiegung	Probleme, die durch Werkzeugdurchbiegung entstehen, zeigen Ähnlichkeiten mit den Problemen, die durch Angussysteme mit Reihenanordnung entstehen. Die Kavitäten in der Mitte füllen sich in der Regel zuerst. Im Gegensatz zu den durch Angussysteme verursachten Ungleichgewichten sind die Bauteile in den Kavitäten in der Mitte fast immer schwerer und größer.	Beim Einspritzen und Verdichten können die hohen auftretenden Kräfte die beiden Werkzeughälften auseinander drücken. Der Mittelbereich des Werkzeugs ist in der Regel am wenigsten unterstützt und kann dazu neigen, sich durchzubiegen. Die Durchbiegung öffnet die Kavitäten und die Fließkanäle in der Mitte mehr als die am Werkzeugrand. Diese Durchbiegung ist bei gutem Werkzeugbau in der Regel minimal.
Plastifizierereinheit liefert inhomogene Schmelzebedingungen	Die inhomogenen Schmelzebedingungen werden nach dem Zufallsprinzip auf die Kavitäten verteilt. Dies führt zu unregelmäßigen, zufälligen Schwankungen im Füllvorgang und bei den Produkteigenschaften.	Beim Spritzgießen kommen – im Gegensatz zur Extrusion – meistens Standardschnecken zum Einsatz. Die Verwendung einer Plastifizierschnecke mit einem Mischelement oder die Verwendung von statischen Mischern nach der Schnecke kann die Schmelzeshomogenität verbessern.
Verstopfung der Werkzeugentlüftung	Die aufgrund einer verstopften Entlüftung eingeschlossene Luft in einer Kavität erhöht den Widerstand der Schmelze beim Füllen einer Kavität. Dies kann die Fließgeschwindigkeit beeinflussen und zu einem Ungleichgewicht führen. Diese Abweichung tritt auf, wenn die Entlüftung durch Verschleiß beschädigt wird oder durch Materialreste oder Gratbildung verstopft ist.	Im Rahmen der regelmäßigen Werkzeugwartung sollten die Entlüftungen gereinigt werden. Die Entlüftungsöffnungen sollten sich in der Trennebene des Werkzeugs befinden, damit sie einfach gewartet werden können. Wenn Entlüftungsöffnungen außerhalb der Trennebene erforderlich sind, sollten sie entlang bewegter Teile wie Auswerfer oder Schieber verlaufen. Diese können Rückstände bei jedem Auswerferhub entfernen.
Kalte Pfropfen	Kalte Pfropfen führen in der Regel zu einem Ungleichgewicht mit zufälligem Muster. In Kaltkanalwerkzeugen beeinflusst ein kalter Pfropfen häufig ganze Gruppen von Kavitäten, die von einem Angusskanal versorgt werden, der durch einen kalten Pfropfen verengt oder blockiert wird. Die Verengung führt häufig zu einer unvollständigen Füllung der blockierten Kavitäten. Bei Heißkanälen bleibt der Effekt eines kalten Pfropfens aus der Heißkanaldüse während der Formgebung oft unbemerkt. Der Pfropfen kann den Schmelzefluss durch einen oder mehrere Anschnitte zunächst blockieren oder beschränken und sich dann während des Einspritzens lösen. Dabei werden alle Kavitäten gefüllt, jedoch unter verschiedenen Bedingungen.	Bei Kaltkanalwerkzeugen sollte der Angusskegel immer eine Vertiefung aufweisen, die den kalten Pfropfen, der an der Schnittstelle zwischen Düse und Werkzeug entsteht, auffängt. Ein Angusszieher mit Vertiefung kann die meisten kalten Pfropfen in einem Kaltkanalsystem auffangen [2]. Zusätzliche Pfropfenfänger können in nachgelagerten Fließkanälen positioniert werden. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass es zu Abweichungen im Bauteil kommt, wenn der kalte Pfropfen den Angusszieher passiert. Kalte Pfropfen, die sich an der Düse von Heißkanalsystemen bilden, sind stark von der Gestaltung der Düsenspitze abhängig. Meistens treten sie bei teilkristallinen Materialien auf. Je kleiner die Öffnung an der Düsenspitze ist, desto eher friert die Schmelze in der Düsenspitze ein und bildet einen kleinen kalten Pfropfen. Dies kann zu Unregelmäßigkeiten bei der Düsenöffnung führen.

6.5.2 Zwei-Komponenten-Spritzgießen

Beim Zwei-Komponenten-Spritzgießen werden zwei verschiedene, aber kompatible Kunststoffe in eine Kavität eingespritzt. Diese Technik ist oft kostengünstig, da Rezyklate sowie unpigmentierte oder geschäumte Materialien mit einer hochwertigen Außenschicht versehen werden können. Wie beim Gasinnendruck-Verfahren sorgt die laminare Strömung dafür, dass die erste Materialkomponente die Außenschicht und die zweite Komponente den Kern des Teils bildet. Normalerweise ist es notwendig, im Anschluss an die zweite Komponente noch eine kleine Menge des ersten Materials einzuspritzen, so dass die Oberfläche in der Nähe des Anschnitts mit der Oberfläche des restlichen Bauteils übereinstimmt. Das Bild 6.33 zeigt die einzelnen Schritte beim Zwei-Komponenten-Spritzgießen.

Wie beim Gasinnendruck-Verfahren wird auch hier ein erstes Material injiziert, um die Kavität teilweise zu füllen. Beim zweiten Einspritzschritt wird statt Gas ein zweites Kunststoffmaterial verwendet. Wie das Gas fließt das zweite Kunststoffmaterial innerhalb der äußeren Haut der gefrorenen ersten Komponente und treibt das noch geschmolzene Material der ersten Komponente nach vorne. Wenn sich in der Kavität nicht genügend Material der ersten Komponente befindet, durchbricht die zweite Materialkomponente die Fließfront. Wenn zu viel Material der ersten Komponente in die Kavität eingebracht wird, kann weniger Material der zweiten Komponente eingeführt werden. Scherinduzierte Ungleichgewichte zwischen den Kavitäten oder innerhalb einer Kavität führen beim Zwei-Komponenten-Spritzgießen zu sehr ähnlichen Einschränkungen wie beim Gasinnendruck-Verfahren. Abweichungen von nur 20% bei der ersten Komponente zwischen den Kavitäten können dazu führen, dass bei der zweiten Komponente Schwankungen von über 40% auftreten.

6.5.3 Spritzgießen von geschäumten Kunststoffen

Einige Produkte erfordern den Einsatz von geschäumten Kunststoffen. Der Schaum reduziert die Dichte des Teils und reduziert das Teilgewicht sowie den Materialeinsatz. Weitere Vorteile sind die gute Abformung dickwandiger Regionen, weniger Verzug und reduzierte Schließkräfte. Der Schäumvorgang kann entweder durch ein Additiv, das dem Kunststoffgranulat zu-

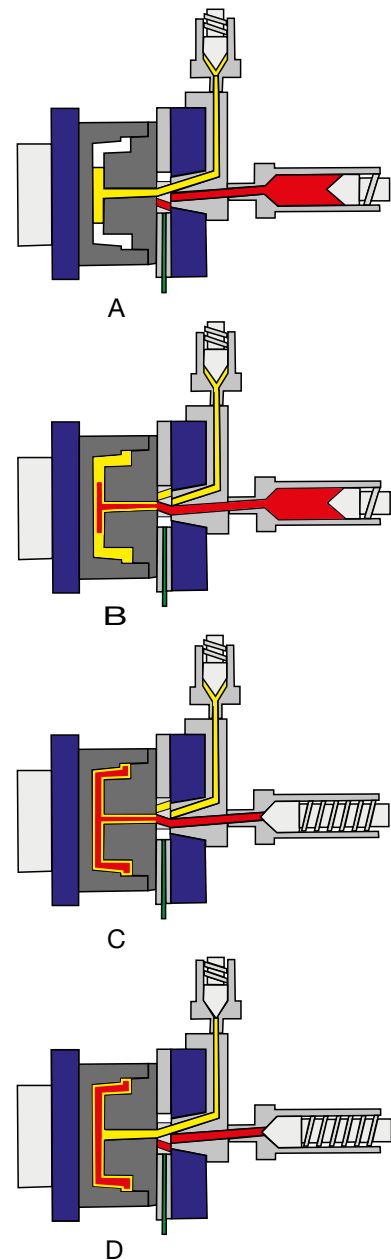


BILD 6.33

2K-Spritzgießen A) Komponente 1 füllt einen Teil der Kavität; B) Komponente 2 fließt zwischen den Außenschichten aus Komponente 1 in die Kavität; C) Füllvorgang mit Komponente 2 wird beendet; D) Komponente 1 wird zur Verdichtung und zur Abdeckung des Anschnittbereichs eingespritzt

7.3.3 Schmelze-Rotations-Technik bei Ungleichgewichten innerhalb einer Kavität

Die beschriebenen Methoden der Schmelze-Rotations-Technik können Ungleichgewichte sowohl zwischen den Kavitäten eines Mehrfachwerkzeugs als auch innerhalb einer gegebenen Kavität beheben. Das Bild 7.16 zeigt die Ergebnisse bei der Verwendung der Schmelze-Rotations-Technik. In Bild A sind sowohl Abweichungen von Kavität zu Kavität als auch Ungleichgewichte innerhalb der einzelnen Kavitäten ohne Schmelze-Rotations-Technik dargestellt. Das Bild 7.16B zeigt, wie der MeltFlipper an der ersten Verzweigung des Angussystems dazu führt, dass zwar alle Kavitäten gleichzeitig gefüllt werden, aber immer noch Ungleichgewichte innerhalb der Kavitäten auftreten. Das Bild 7.16C zeigt eine modifizierte Schmelze-Rotations-Technik an der zweiten Verzweigung des Angussystems, die dazu führt, dass sich sowohl zwischen den Kavitäten als auch innerhalb der Kavitäten ein Gleichgewicht einstellt. Einheitlichere Bauteile und ein deutlich vergrößertes Prozessfenster sind die Folge, da alle Teile unter den gleichen Schmelze- und Prozessbedingungen gefüllt werden.

Die Schmelze-Rotations-Technik wurde auch bei dem Vierfachwerkzeug für Steckerverbinder verwendet, das in Abschnitt 6.6 bereits beschrieben wurde und hier in Bild 7.17 noch einmal dargestellt ist. Nachdem die Ursache der Produktabweichungen erkannt war, wurde die Schmelze-Rotations-Technik am Schnittpunkt der primären und sekundären Anguss-

BILD 7.17

In einem Vierfachwerkzeug hergestellte Spritzgießteile, die durch Einsatz der Schmelze-Rotations-Technik gleichmäßiges Füllverhalten zeigen

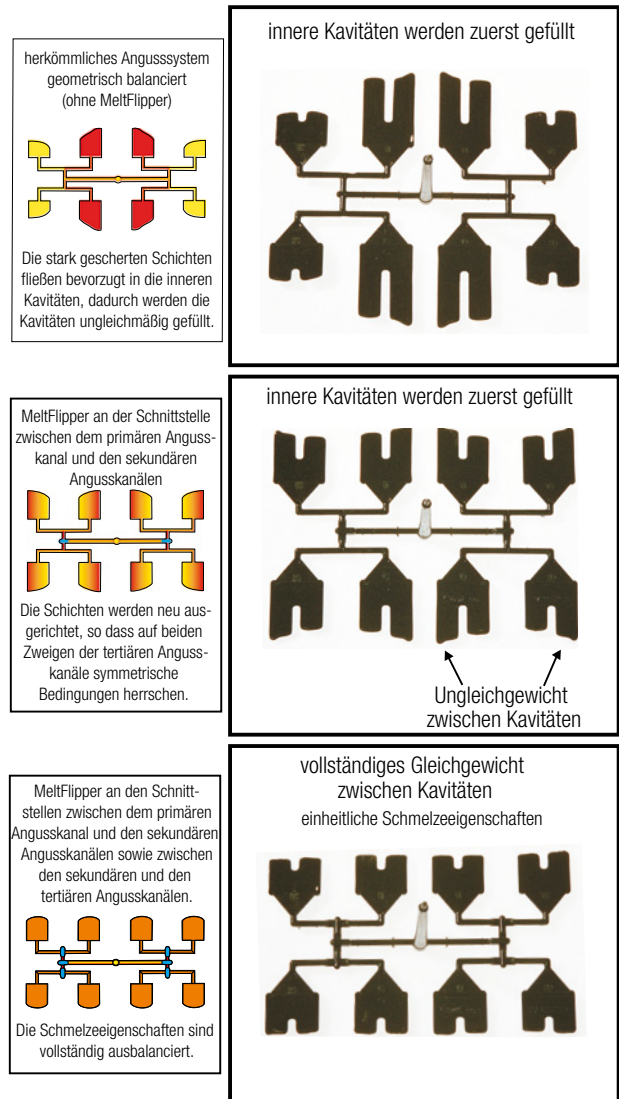
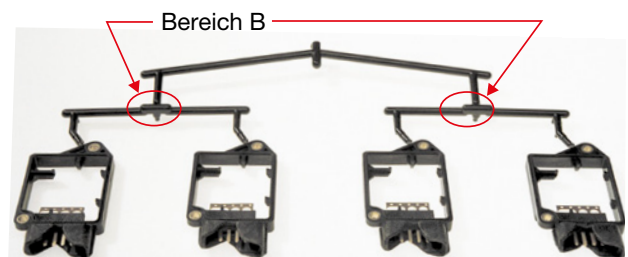


BILD 7.16

Einfluss der Schmelze-Rotations-Technik auf die Balancierung des Füllvorgangs zwischen den Kavitäten und innerhalb der Kavitäten (Bild: BTI)



sollte entweder in einen geraden Steg mit etwa 0,5 mm Länge oder in einen keilförmigen Steg (siehe Bild 8.26) übergehen. Die Anschnittsöffnung zum Teil hin sollte etwa 50 bis 70 % der Wanddicke des Spritzgießteils betragen. Der Verteilerkanal der spinnenförmigen Ausführung sollte wie ein Kaltkanalverteiler ausgelegt sein. Der Anschnitt selbst sollte entsprechend den Richtlinien für die jeweils verwendete Anschnittart gestaltet werden.

8.4.7 Tunnelanschnitt

Ein Tunnelanschnitt ist in der Regel konisch geformt und mit dem kleinsten Ende des Konus am Teil angebracht. Der Anschnitt ist in das Werkzeug versenkt, so dass er zwischen Angusskanal und Kavität unterhalb der Trennebene des Werkzeugs verläuft (siehe Bild 8.32). Während des Auswerfens wird der Anguss vom Formteil getrennt, während er durch den Tunnel abgezogen wird. In Bild 8.33 werden zwei übliche Varianten des Auswerfens eines Tunnelanschnitts gezeigt. Diese Anschnitte werden häufig verwendet, um in Zweiplatten-Kaltkanalwerkzeugen eine automatische Angussentfernung zu ermöglichen. Tunnelanschnitte werden aber auch in anderen Werkzeugen zur automatischen Angussentfernung eingesetzt. Der Hauptvorteil ist die automatische Angussentfernung in Kaltkanalsystemen.

Das Ziel der automatischen Angussentfernung verringert die Flexibilität bei der Gestaltung des Tunnelanschnitts. Die Anschnittöffnung muss auf ein Minimum reduziert werden, um sicherzustellen, dass der Anguss während des Auswerfens vom Spritzgießteil abgetrennt wird, ohne das Teil zu beschädigen oder einen übermäßigen Angussrest zu hinterlassen. Wenn der Durchmesser des Anschnitts jedoch zu klein ist, wird das Material zu stark geschert und ein vorzeitiges Einfrieren verhindert die ordnungsgemäße Verdichtung der Kavität. Die Anschnitte sind verjüngt, so dass sie aus dem Werkzeug ausgeworfen werden können. Der Durchmesser des Anschnitts an der Spitze liegt typischerweise zwischen 30 und 70 % der Wanddicke des Bauteils, dies hängt vom Material und von der Anwendung ab. Das verwendete Kunststoffmaterial sollte nicht zu spröde sein, denn der Anguss muss sich so verformen können, dass er sich aus dem Tunnel herausziehen lässt. Der Winkel, in dem der

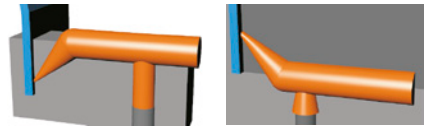


BILD 8.32

Gestaltungsmöglichkeiten des Tunnelanschnitts

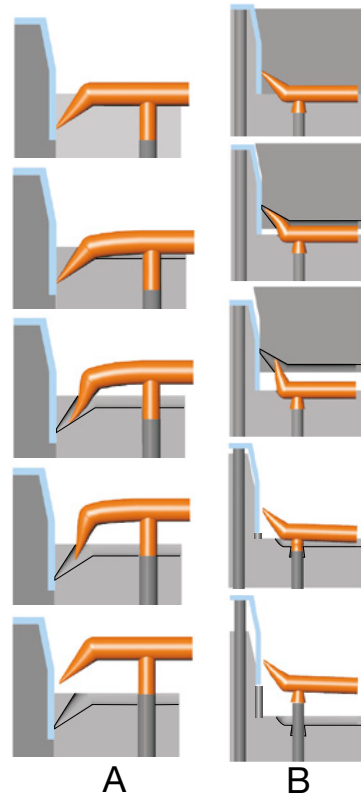


BILD 8.33

Tunnelanschnitte werden verwendet, wenn eine automatische Angussabtrennung erwünscht ist. Dargestellt sind zwei Methoden, den Anschnitt aus dem Werkzeug zu entnehmen

■ 9.3 Etagenwerkzeuge

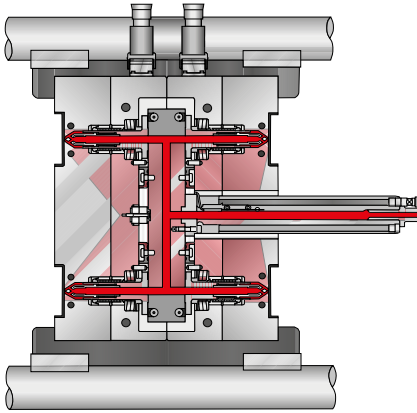
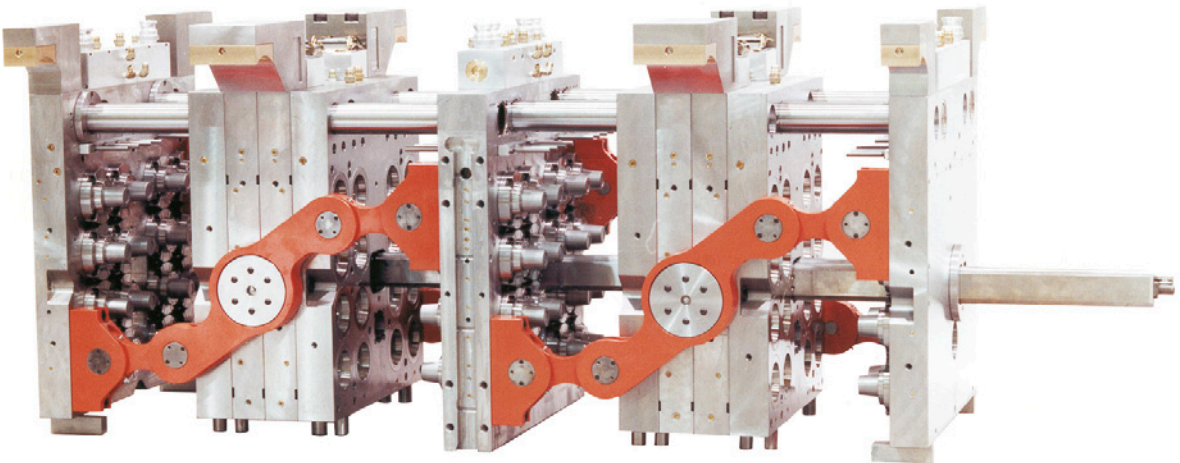


BILD 9.6
Etagenwerkzeug

Etagenwerkzeuge ermöglichen eine Verdoppelung, Verdreifachung oder gar Vervielfachung der Anzahl der Kavitäten in einem Werkzeug bei sehr geringer Erhöhung der Schließkraft oder der Plattengröße. Dies geschieht durch Hinzufügen mehrerer Trennebenen, wobei die Kavitäten entlang einer Trennebene Rücken an Rücken zu den Kavitäten in der benachbarten Trennebene positioniert sind. Diese Anordnung sorgt dafür, dass die Kavitäten die projizierte Fläche nicht erhöhen und sich daher auch die Kraft, die auf die Schließeinheit wirkt, nicht erhöht. Meistens verfügen Etagenwerkzeuge über zwei Ebenen (siehe Bild 9.6), es werden jedoch auch Etagenwerkzeugen mit drei und vier Ebenen eingesetzt (siehe Bild 9.7). Die zusätzliche Einbauhöhe eines Etagenwerkzeugs erfordert in der Regel eine speziell entwickelte Schließeinheit mit vergrößertem Plattenabstand und erhöhter Schließbewegung.

Die meisten Etagenwerkzeuge werden mit einem Heißkanalsystem versorgt (siehe Bild 9.6). Die Schmelze wird von der Maschine durch einen »Angussschnorchel« zu einem heißen Verteiler zugeführt, der zwischen den Trennebenen positioniert ist. In einem Etagenwerkzeug mit zwei Ebenen überquert der Angussschnorchel die erste Trennebene bis zum Mittelteil des Werkzeugs, wo sich der heiße Verteiler befindet. Der Verteiler liefert die Schmelze dann zu den Düsen, mit denen die Kavitäten entlang der beiden Trennebenen des Werkzeugs versorgt

BILD 9.7
Etagenwerkzeug mit vier Ebenen
(Bild: Husky)



11.3.4 Mechanische Verschlussdüsen

Das Bild 11.11 zeigt eine Verschlussdüse in geöffneter und geschlossener Stellung. Bei dieser Ausführung wird die Nadel der Verschlussdüse hydraulisch betätigt. Die Hydraulik, der Antriebskolben und der Zylinder sind in der oberen Platte eingebaut. Mechanische Verschlussdüsen haben eine Feder, einen Torsionsstab, sowie hydraulisch oder pneumatisch betätigte Ventilmadeln. Vor dem Einspritzen wird die Nadel mechanisch zurückgezogen. Dabei öffnet sich eine große Anschnittöffnung für den Eintritt der Schmelze in die Kavität. Bevor die Schmelze am Anschnitt erstarrt, bewegt sich die Nadel nach vorne in die geschlossene Position. Bei federbetätigten Ventilmadeln ist es nicht möglich, die Ventilbewegung zeitlich zu steuern. Daher werden die meisten Verschlussdüsen entweder pneumatisch oder hydraulisch betätigt. Pneumatisch gesteuerte Systeme werden meistens mit Druckluft aus einem Kompressor versorgt, dabei liegt der Druck meist unterhalb von 10 bar. Daher erfordern pneumatisch gesteuerte Verschlussdüsen Pneumatikzylinder mit relativ großem Durchmesser, diese bieten jedoch trotzdem nicht die gleiche Kraft und Schnelligkeit, die mit einem kompakteren hydraulischen betätigten Nadelventil erreicht wird. Die hydraulisch betätigten Systeme nutzen normalerweise das Hydrauliksystem der Spritzgießmaschine, die Drücke von über 130 bar zur Verfügung stellen kann. Der negative Aspekt ist dabei der erhöhte Wartungsaufwand eines Hydrauliksystems.

Die große Anschnittöffnung, die entsteht, wenn die Nadel zurückgezogen wird, kann den Einspritzdruck im Vergleich zu den offenen Anschnitten mit kleinem Querschnitt reduzieren. Bei Hochgeschwindigkeits-Anwendungen kann die Verschlussdüse die Zykluszeit verkürzen, da das Ventil geschlossen werden kann, um eine Plastifizierung bei geöffnetem Werkzeug zu ermöglichen.

Der Einsatz von mechanischen Nadelverschlussdüsen führt zu einem makellosen Anschnitt ohne Nachtropfen und Fadenziehen. Die Anspritzpunkte weisen in der Regel nur einen kleinen Ring statt des üblichen Angussrestes auf. Dies ist oft bei Spritzgießteilen für die Medizintechnik erforderlich. Eine makellose Oberfläche verhindert, dass Operationshandschuhe und andere Schutzkleidung durch Angussreste aufgerissen werden. Ein weiterer Vorteil der mechanischen Nadelverschlussdüse ist,

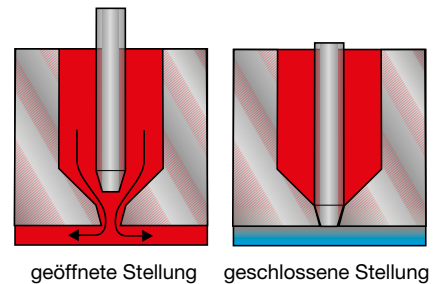


BILD 11.11

Verschlussdüse in geöffneter und geschlossener Stellung

Blasen

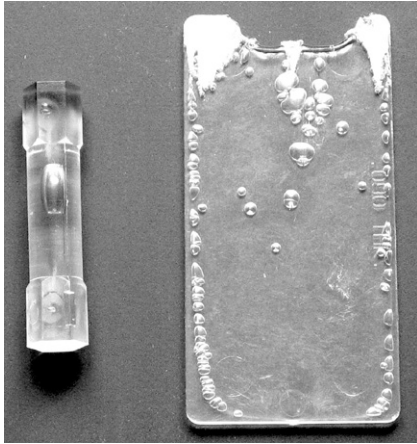


BILD 15.8
Blasenbildung

Blasenbildung an der Oberfläche des Teils

Mögliche Ursache	Lösungsvorschläge
Gaseinschlüsse	Stellen Sie stufenweise Teilfüllungen mit 10, 20, 40, 60, 70, 80, 95% Füllung her. Beachten Sie, wie die Schmelzefront sich verhält. Stellen Sie fest, ob ein Vorseilen der Schmelze oder Freistrahlbildung auftritt. Beachten Sie, ob Rippen vorzeitig gefüllt werden. Das Ziel besteht darin herauszufinden, wo das Gas herkommt und die Quelle zu eliminieren. Entlüften Sie das Werkzeug ordnungsgemäß oder verwenden Sie porösen Stahl, um Gaseinschlüsse zu vermeiden. Prüfen Sie, ob Feuchtigkeit auftritt. Ändern Sie die Anschnittposition. Legen Sie während des Füllvorgangs ein Vakuum an der Kavität an.
Lunker	Verringern Sie die Wanddicke im betroffenen Bereich. Verändern Sie die Anschnittposition, so dass von dick nach dünn gefüllt wird. Lunker treten beim Abkühlen in dicken Bereichen auf. Sie müssen mehr Kunststoff in die Kavität einbringen. Achten Sie auf ein gleichmäßiges Massepolster. Erhöhen Sie den Nachdruck, verlängern Sie die Nachdruckzeit, verwenden Sie sehr kleine Füllgeschwindigkeiten. Verlängern Sie die Siegelzeit, damit während der Nachdruckphase eine höhere Verdichtung erreicht wird. Vergrößern Sie den Durchmesser des Angusskanals. Erhöhen Sie die Temperatur des Werkzeugs wesentlich und/oder werfen Sie das Teil früher aus. Dies ermöglicht, dass sich an den Außenwänden beim Abkühlen Einfallstellen bilden. Reduzieren Sie die Temperatur der Schmelze.

Mögliche Ursache	Lösungsvorschläge
Gasbildung an der Oberfläche während der Füllung oder Verdichtung	Prüfen Sie den Feuchtigkeitsgehalt des Granulats. Prüfen Sie, ob Lufteinschlüsse auftreten. Stellen Sie fest, ob sich ein hoher Anteil flüchtiger Bestandteile im Material befindet. Reduzieren Sie die Dekompression.
Lufteinschlüsse durch unzureichende Entlüftung	Überprüfen Sie, ob die Anzahl und Tiefe der Entlüftungsöffnungen mit den Empfehlungen des Herstellers übereinstimmen. Reinigen Sie die Trennebene und die Entlüftungsöffnungen. Entlüftungsöffnungen können mit druckempfindlichem Papier überprüft werden. Legen Sie ein Vakuum an das Werkzeug an.
Lufteinschlüsse während des Füllvorgangs	Führen Sie eine Serie mit Teilfüllungen zwischen 10 und 95% durch. Untersuchen Sie, ob sich im Fließweg Lufteinschlüsse befinden. Auch Freistrahlbildung führt zu Lufteinschlüssen.

Mögliche Ursache	Lösungsvorschläge
Lufteinschlüsse durch zu hohe Schließkraft	Reduzieren Sie die Schließkraft, besonders bei kleinen Werkzeugen.
Lufteinschlüsse durch Dekompression	Verringern Sie die Dekompression, vor allem bei Heißkanalsystemen oder Werkzeugen mit heißem Angusskegel. Achten Sie dabei darauf, dass die Rückstromsperre weiterhin ordnungsgemäß funktioniert.
Lufteinschlüsse durch niedriges L/D-Verhältnis der Schnecke	Erhöhen Sie den Staudruck der Schmelze auf 70 bis 100 bar.
Abbau des Kunststoffes oder der Additive	Überprüfen Sie, ob die Schmelzetemperatur den Herstellerangaben entspricht. Verringern Sie die Verweilzeit durch Reduzierung der Kühlzeit.



BILD 15.9
Blasenbildung und Schichtablösung

Mögliche Ursache	Lösungsvorschläge
Zu hohe Temperatur im Einzugsbereich	Überprüfen Sie den Wasserdurchfluss im Einzugsbereich. Stellen Sie die Temperatur auf 30 bis 55 °C ein. Überprüfen Sie die Temperaturen am Eingang und am Ausgang der Kühlleitungen im Einzugsbereich.
Granulatgröße	Stellen Sie sicher, dass das Mahlgut auf die richtige Größe zerkleinert wird.
Schneckenrückzug	Manchmal gelangt geschmolzener oder teilweise geschmolzener Kunststoff in den Einzugsbereich, wenn die Schnecke manuell zurückgezogen wird. Leeren Sie die Schnecke vor dem Schneckenrückzug.

Brückenbildung im Einzugsbereich

Mögliche Ursache	Lösungsvorschläge
Trocknungstemperatur zu hoch	Überprüfen Sie, ob der Sollwert für die Temperatur im Trockner richtig eingestellt ist. Messen Sie die Temperatur am Eintritt und vergleichen Sie diese mit dem Sollwert. Unter Umständen müssen Sie den Trockner einer Regeneration unterziehen und währenddessen die Temperatur der Prozessluft messen. Oft treten Temperaturspitzen auf. Diese können mit einem speziellen Pyrometer erfasst werden.

Brückenbildung im Trichter