

6 Gestalten, Fügen, Berechnungsansätze und Simulation EDV-unterstützter Konstruktionen und Auslegung von Kunststoffbauteilen

6.1 Konstruieren und Gestalten mit Kunststoffen

Martin Keuerleber, Peter Eyerer

6.1.1 Einführung

Der Entwicklungsprozess hin zu einem Kunststoffbauteil ist komplex. Die Einbindung aller Beteiligten (Abteilungen in der eigenen Firma, Kunden, Lieferanten, Institute, Partner, Behörden), die hohen Anforderungen an technische, wirtschaftliche (Kosten), umweltliche und soziale Lösungen, eingezwängt in ein fast immer engstes Zeitkorsett, bedingen ein ganzheitliches Produkt-Engineering (siehe Bild 4-209).

Häufig sieht sich der Entwickler und Konstrukteur Forderungen des Vertriebs und Designs ohne konkrete Lastenhefte gegenüber. Er muss es erstellen! Je besser und vollständiger er das erreicht, umso weniger Änderungen und Unsicherheiten folgen während des Entwicklungsprozesses. Geänderte Vorgaben bedeuten Unsicherheiten, und diese verursachen Kosten, Zeitverluste, Qualitätsrisiken und letztlich Marktverluste.

Dabei sind Änderungen im Frühstadium der Entwicklung noch kostenarm, meist handelt es sich hier um ein virtuelles Produkt. Das eben Gesagte gilt für spätere Entwicklungsstadien. Hinzu kommt, dass die Entwicklung und Konstruktion etwa 75% der Kostenverantwortung für das spätere Produkt verantwortet (Material, Produktion/Montage, Qualität), aber nur etwa 40% der Kostenzusammensetzung (Material, Herstellung, Entwicklung) verursacht.

Bild 6-1 zeigt den Ablauf des Entwicklungsprozesses von der Konzeptphase bis zur Serienfertigung.

Mit Blick auf Kunststoffbauteile (Spritzgießen, Extrusionsblasformen, Pressen oder andere Verarbeitungsverfahren) treten im Laufe der Konstruktion häufig die folgenden Fehler auf.

- Keine eindeutige Projektleitung
- Kein Projektplan

- Kein Lastenheft vorgegeben bzw. erstellt
- Falsche Werkstoffauswahl
- Keine Simulationsrechnungen
 - Spritzgussimulation
 - Bauteilfestigkeit mittels FEM-Berechnung
- Keine Erstellung von Prototypen
 - Keine Überprüfung an Prototypen
- Direkter Werkzeugbau ohne Vorstufen

Bei kompliziert gestalteten Bauteilen ist eine Formfüllsimulation empfehlenswert.

Folgende Punkte lassen sich damit gut abschätzen:

- Lage von Bindenähten und Lufteinschlüssen
- Herstellbarkeit (lässt sich das Bauteil mit gegebenem Angussystem füllen)
- Fertigungsparameter (Schließkraft, Füllzeit)
- (Qualitativ) Schwindung und Verzug unter Berücksichtigung von:
 - Glasfaserorientierung
 - Temperierung
- Verhalten des Bauteils unter mechanischer Belastung mit Berücksichtigung der Fertigungseinflüsse
 - Verzug, Eigenspannungen, lokal unterschiedliche Steifigkeit

Das folgende Beispiel einer FEM/Formfüllsimulation für die Quertraverse im Dachkanal eines Reisebusses mag für weitere Substitutionen von Metall/Aluminium) in Kunststoff (PA6.6 LGF50 und PA6.6 GF50) ermutigen.

Folgende Randbedingungen und Ziele waren gegeben:

- Die Traverse ist das Rückrat des Dachkanals
- Bisheriger Werkstoff ist Aluminium
- Anpassungskonstruktion
- Ziel ist Kosten- und Massereduktion
- Handlaufbefestigung darf sich bei Belastung mit 1420 N nur max. 10 mm durchbiegen
- Lösung mittels Formfüllsimulation und FEM-Berechnung

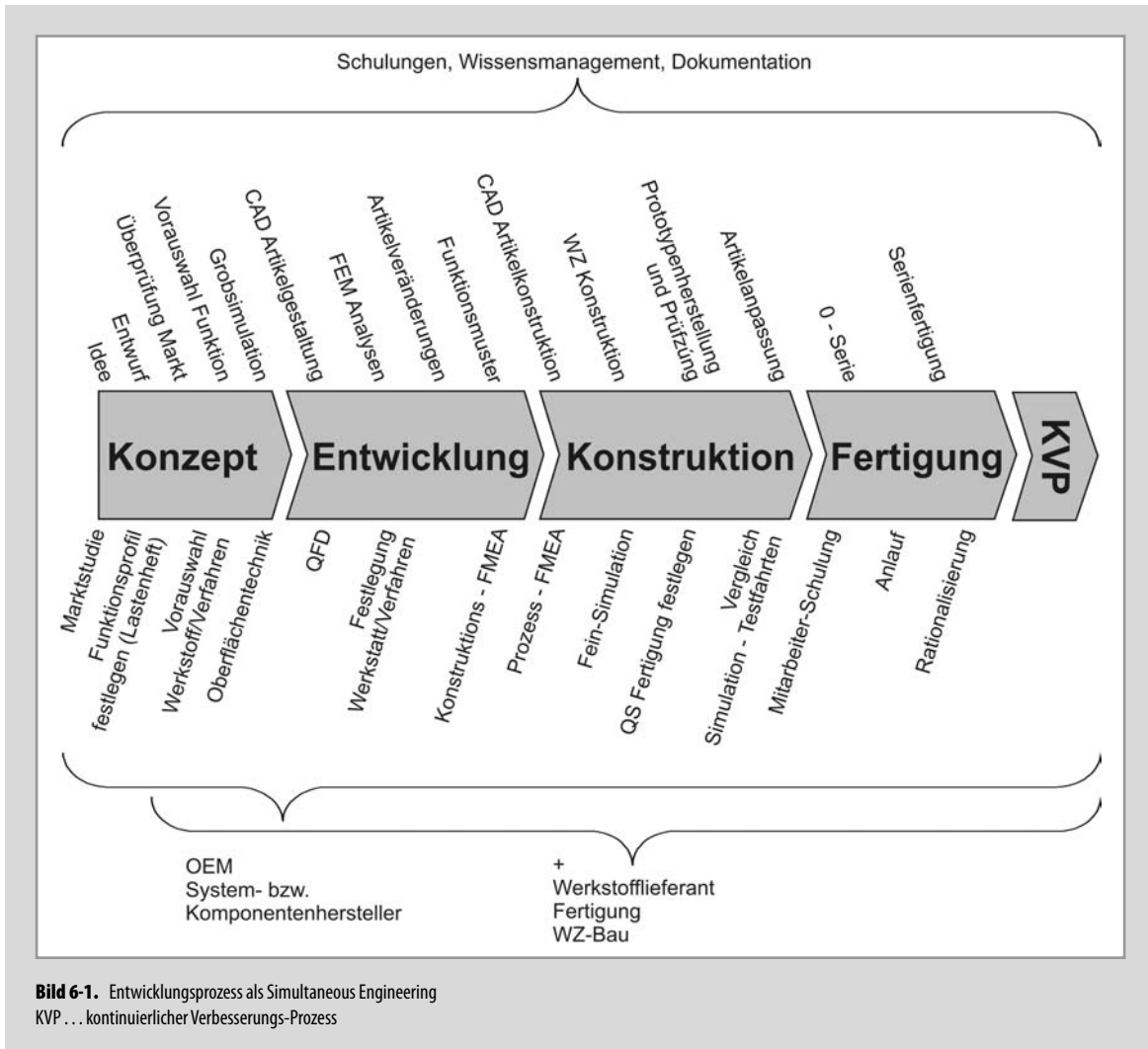


Bild 6-3 und 6-4 zeigen die Füllsimulation und FEM-Berechnung in einem ersten Ansatz, bei dem die Geometrie des Aluminiumteiles verwendet wurde und lediglich Al durch Polyamid substituiert wurde.

Dies konnte nicht die Lösung sein. Daher erfolgte in einem zweiten Ansatz eine kunststoffgerechte Konstruktion mit zwei unterschiedlichen Polyamid-Typen, Bild 6-5.

Ergebnisse der Substitution sind

- Aluminium wurde durch Thermoplasten ersetzt
 - LGF PA66, Lieferant A PA 66 GF 50 P 10 sw
- Massereduktion im schwerpunktsensitiven Bereich (Dach)
 - von 2,8 kg auf 1,9 kg

- Große Kostenvorteile

- Werkstoff deutlich teurer, aber Entfall von Nacharbeit (entgraten, lackieren, ...)
- Integration weiterer Funktionen möglich
 - Befestigungen (Clips) für Leitungssatz zu Service-Modul
 - Einfärbbarkeit, etc.

Zum Abschluss dieser kurzen Einführung in Konstruieren und Gestalten mit Kunststoffen gibt Tabelle 6-1 einen Überblick über die wichtigsten Konstruktionsrichtlinien, die dann im Folgekapitel in den sogenannten 9 goldenen Konstruktionsregeln ausführlicher dargestellt werden.



Bild 6-2. Beispiel Formfüllsituation FEM zu einer Quertraverse im Dachkanal

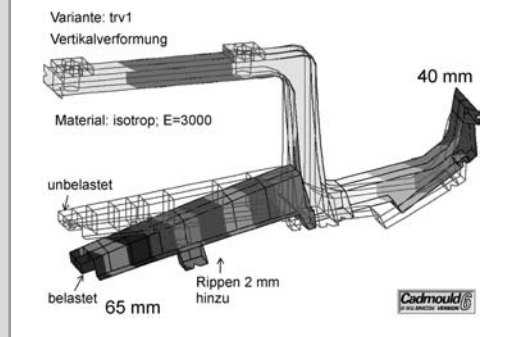


Bild 6-4. Beispiel FEM-Simulation nach AI-Geometrie

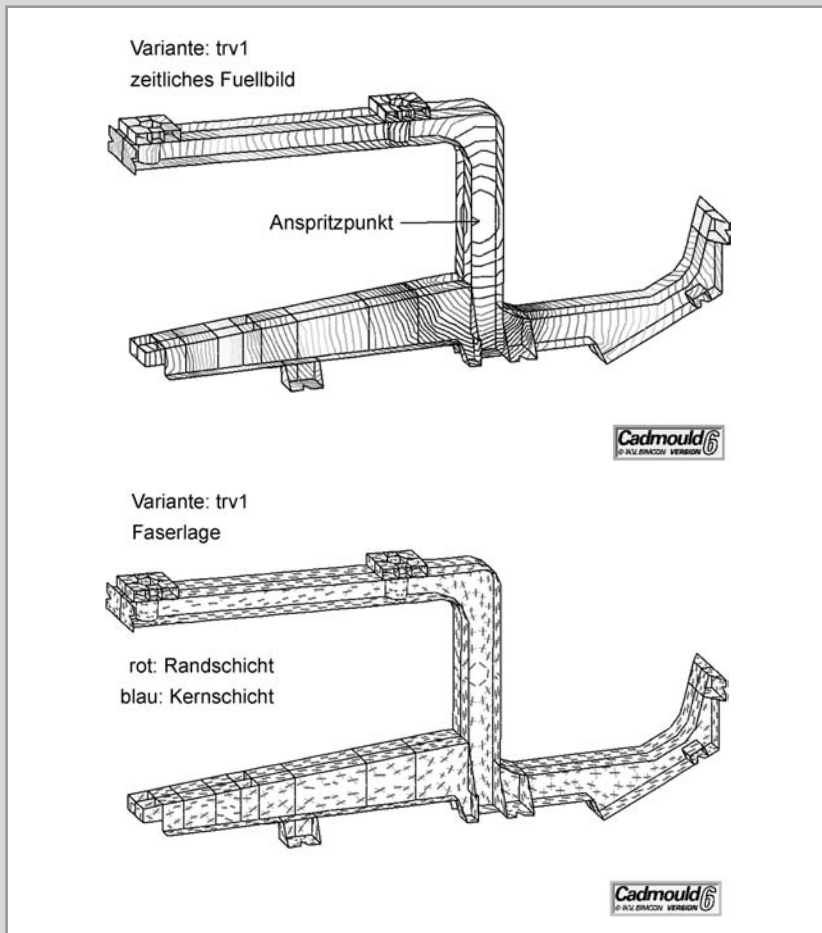


Bild 6-3. Beispiel Formfüllsimulation – zeitliches Füllbild und Faserlage

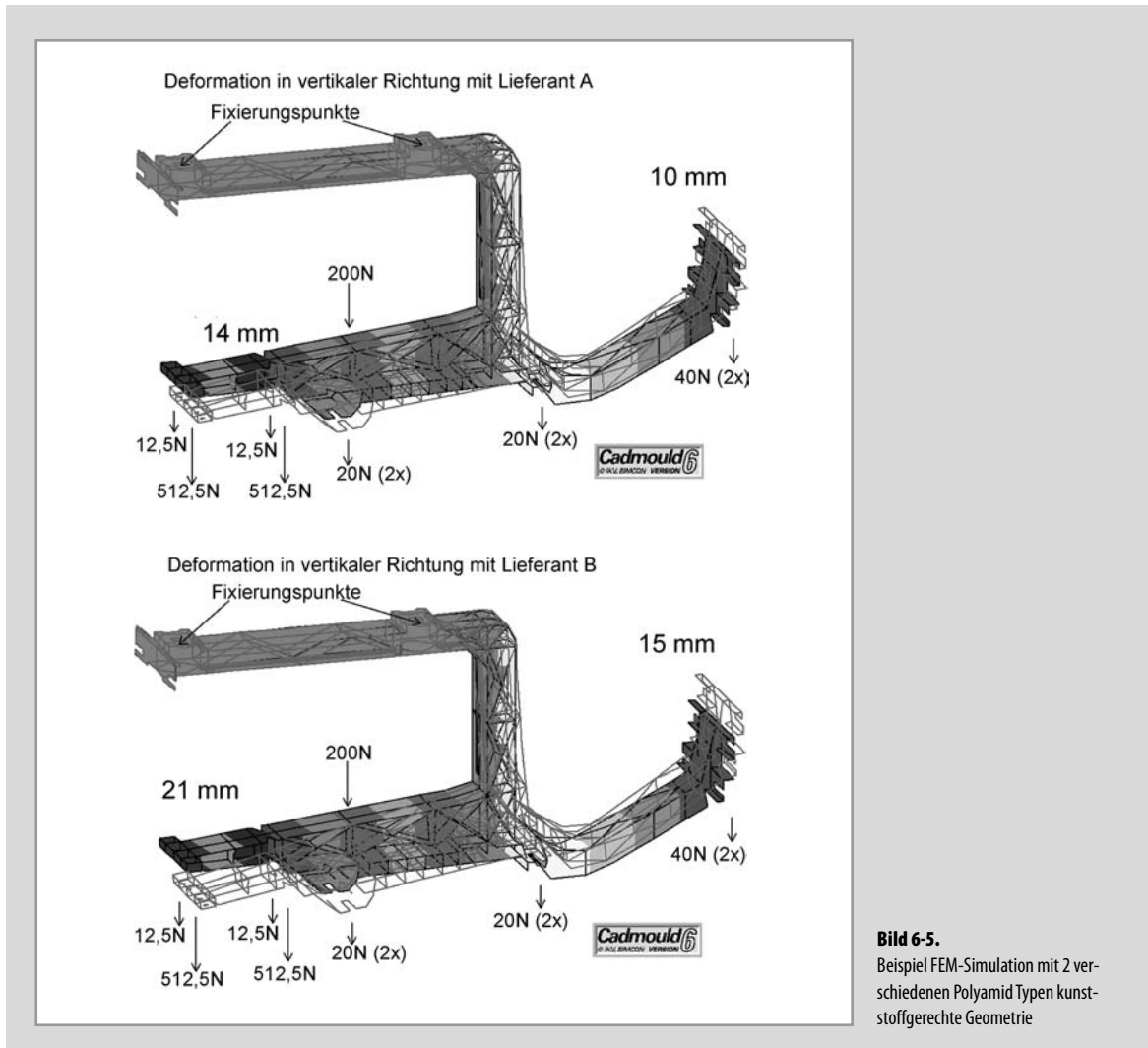


Bild 6-5.
Beispiel FEM-Simulation mit 2 verschiedenen Polyamid Typen kunststoffgerechte Geometrie

6.1.2 Die 9 goldenen Konstruktionsregeln für Kunststoffbauteile

Tabelle 6-2 fasst die 9 goldenen Regeln zum Konstruieren von Kunststoffbauteilen zusammen.

Im folgenden werden die einzelnen Regeln erläutert und vertieft.

6.1.2.1 Wanddicke so dünn wie möglich

Die Wanddicke beeinflusst

- die Bauteilmasse und die Werkstoffkosten
- die Zykluszeit

- die Oberflächenqualität, den Verzug und Lunker
- die Fließweglänge
- die Toleranzen (DIN 16901)
- die Formteilsteifigkeit

Besser: Rippen einsetzen (Einfallstellen beachten)

- die Orientierungen (Moleküle, Glasfasern)

Da die Wanddicke die Kühlzeit im Quadrat verlängert, wird jeder kostenbewusste Konstrukteur eine möglichst geringe Wanddicke wählen. Zudem kann damit an den Werkstoffkosten gespart werden. Die Dünnwandtechnik (siehe Kapitel 4.1.3.1) gewinnt daher immer mehr an Bedeutung. Sie ist gekennzeichnet durch ein Fließweg/Wand-

Tabelle 6-1 Übersicht Konstruktionsrichtlinien für Kunststoffbauteile**Werkstoffgerechtes Gestalten**

- Radien vorsehen
 - Reduzierung der Kerbwirkung
 - Bessere Entformbarkeit
- Berücksichtigung von Randbedingungen
 - Werkstoffrezeptur (Additive, Füll- und Verstärkungsstoffe...)
 - Belastungen auf Bauteil
 - umgebende Medien und Strahlungen
 - Verarbeitungseinflüsse
 - etc.

Verarbeitungsgerechtes Gestalten

- Konstante Wandstärken, so gering wie möglich
 - Abkühlung ist quadratisch mit Dicke
 - Masseanhäufungen vermeiden
- Anbindung möglichst an dicksten Stelle
 - Wirksamkeit von Nachdruck
- Formschrägen vorsehen
- Schwindungs- und Verzugseffekte berücksichtigen
 - Zierrippen und –nuten, keine Stumpfstöße

Kostengerechtes Gestalten

- Aufwendige Schieber vermeiden
- Auswerfer nicht zu dünn dimensionieren
- Keine überzogenen Toleranzanforderungen
- Werkstoff gezielt wählen,
 - Erfüllung der Anforderungen, nicht den bestmöglichen oder bekannten Stand der Technik übernehmen
 - Recyclingmaterial in Mittellage verstecken
- Funktionen integrieren
 - z.B. Filmscharnier, Schnapphaken, Halter, Umbuge,
- Preiswerte Montagetechnik einsetzen
 - z. B. Schnappverbindungen

Tabelle 6-2 9 goldene Konstruktionsregeln für Kunststoffbauteile

- 1 Wanddicke so dünn wie möglich
- 2 Gleiche Wanddicke; Masseanhäufungen vermeiden
- 3 Ecken und Kanten mit Radien vorsehen
- 4 Rippen spritzgerecht gestalten
- 5 Ebene Flächen vermeiden
- 6 Ausreichende Konizitäten (Entformungsschrägen)
- 7 Hinterschneidung vermeiden
- 8 Keine genauere Bearbeitung als nötig
- 9 Möglichkeiten der Integration von Funktionen ausschöpfen (werkzeugfallende Bauteile)

Die Erstarrungszeit t_E ist nach Gleichung 1 von den thermischen Eigenschaften des Kunststoffes, der Prozessparameter und der Formteilgeometrie abhängig.

Berechnung der Erstarrungszeit t_E

$$t_E = \frac{d^2}{\pi^2 \cdot a} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_{MW} - T_W}{T_E - T_W} \right] \quad (1)$$

d = Wandstärke

a = Temperaturleitfähigkeit

T_{MW} = mittlere Massetemperatur im Werkzeug

T_W = mittlere Werkzeugoberflächentemperatur

T_E = mittlere Entformungstemperatur \approx Erstarrungstemperatur

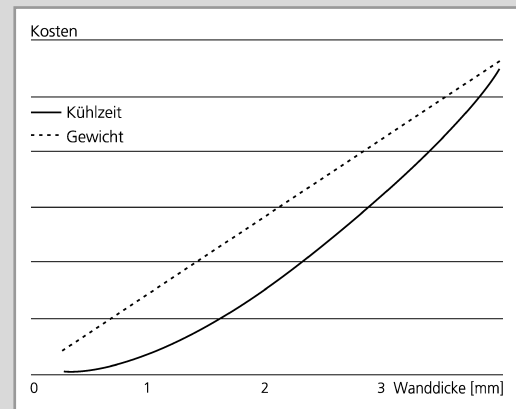
Die Schmelzeerstarrung beginnt durch schnelles Abkühlen an der „kalten“ Werkzeugwand (ca. 50–80 °C warm im Vergleich zur Schmelztemperatur von 250 °C \pm 50).

dicken-Verhältnis von größer 100 bei Wanddicken kleiner 1 mm.

So wurde beispielsweise die Wanddicke von Mobiltelefon-Schalen von 1,8 mm vor 10 Jahren auf 0,8 mm reduziert und dies sogar mit den nicht leicht fließenden PC+ABS-Blends. Oder bei PUR-PRIM-Anbauteilen an PKW, wie Schweller-Verkleidungen, betrug die Dicke vor 20 Jahren 2,5 mm, heute sind es 1,5 mm.

Bild 6-6 zeigt Kühlzeit und Masse eines Mobiltelefongehäuses in Abhängigkeit der Teilwanddicke, [1].

Die erreichbare Mindestwanddicke ist von der Viskosität der Schmelze abhängig. Diese wird durch die Konstitution (chem. Aufbau), die Molmasse, die Molmassenverteilung, durch Verzweigungen, Additive und Verstärkungen bzw. Füllstoffe beeinflusst. Die Wanddicke steht technologisch mit der Fließlänge, Bild 6-7 (Beispiel POM), in Zusammenhang [2].

**Bild 6-6.** Kühlzeit und Gewicht eines Handygehäuses (PC+ABS) in Abhängigkeit der Teilwanddicke, nach Kulik [1]

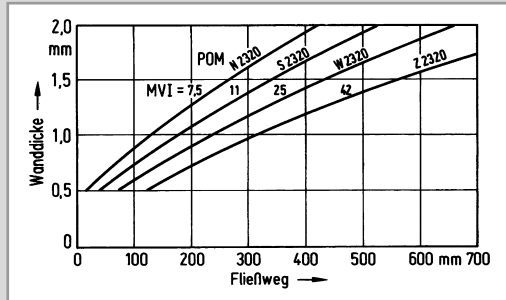


Bild 6-7. Fließweg vs. Wanddicke für verschiedene POM-Typen nach BASF [3]

Wegen schneller Abkühlung haben die Makromoleküle keine Zeit zum Relaxieren, nachdem sie infolge hoher Scherkräfte beim Strömen durch Düse und Kavität stark orientiert wurden. Auch Kristallisation wird unterdrückt. Somit bleiben die Randschichten stark orientiert und amorph, was hohe Isotropien, geringere Festigkeiten, Härte und Verschleißwiderstand bedeutet.

Aufgrund langsamerer Abkühlung der Mittelschichten (schlechtere Wärmeleitung zur Werkzeugwandung hin) bestimmt die dickste Stelle einer Bauteilwandung die Zykluszeit!

In diesem Zusammenhang – Schwindungen und Verzüge – spielen die Toleranzen von Kunststoffbauteilen eine große Rolle.

Sie werden in DIN 16901 dargestellt (siehe auch Bild 6-8):

- Erreichbare Maße bei Kunststoffteilen in linearer, prozentualer Abhängigkeit vom Nennmaß

- Normaler Spritzguss < 1 %
- Technischer Spritzguss < 0,6 %
- Präzisions-spritzguss < 0,3 %
- Für erreichbare Fertigungstoleranzen ist nicht absolute Höhe der Schwindung sondern prozessbedingte Schwindungstreuung entscheidend
- Absprache mit Werkzeugmacher bzw. Spritzgießer!!
- **Unnötige Toleranzanforderungen führen nicht zu höherer Qualität sondern zu höheren Ausschussquoten! [3]**

6.1.2.2 Gleichmäßigkeit der Wanddicke

Auswirkung von Wanddickenunterschieden sind

- Lunker
- Einfallstellen
- Eigenspannungen (Kristallisation, Schwindung, Polymerisation) bzw. Verzug

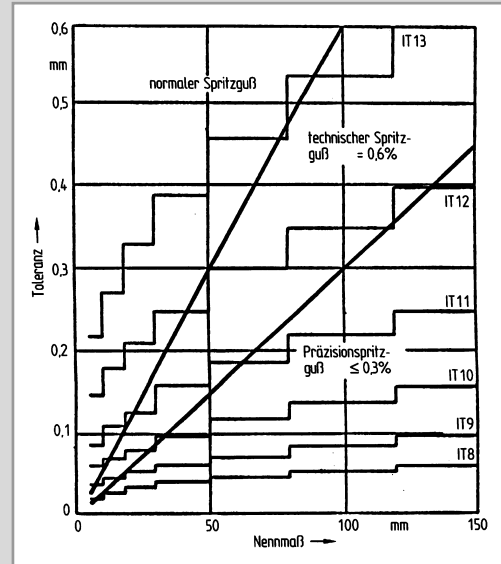


Bild 6-8. Toleranzen von Kunststoffteilen im Vergleich zu den für Metalle üblichen ISO Toleranzreihen – Toleranzen nach DIN 16901 [3]

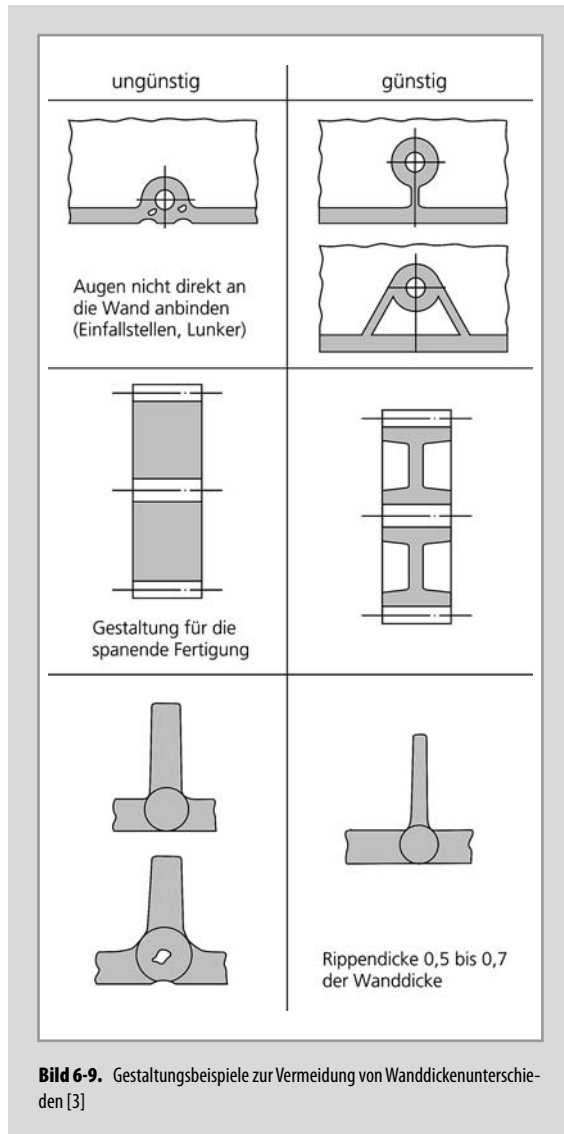
Bild 6-9 [3] zeigt Gestaltungsbeispiele zur Vermeidung von Wanddickenunterschieden.

- Die Ursachen für Einfallstellen und Lunker sind
- Dichteunterschied zwischen Schmelze und Festkörper
 - Dichte der Schmelze ist geringer als die des Festkörpers
- Beim Abkühlen schwindet das Material
 - Im Inneren entstehen luftleere Hohlräume – Lunker
- Zieht das noch geschmolzene Material im Bauteilkern die Wandung nach innen, so ergibt sich eine Einfallstelle und damit Geometrieabweichungen

Bei der Konstruktion ist dabei zu beachten, dass dickwandige Bereiche oder Bereiche mit schlechter Wärmeableitung später erstarren. Dies gilt insbesondere, wenn diese Bereiche angussfern liegen und über dünnwandige Bereiche angebunden sind. Eine vollständige Erstarrung erfolgt dann nicht unter Nachdruck. Die Folge sind Einfallstellen und Lunker.

Eine Möglichkeit zur Verminderung/Abhilfe ist die Nachdruckwirkung auf die Schmelze.

- Die Ursachen für Verzug sind:
- Werkstoff-Anisotropie (z. B. durch Glasfasern) ergibt unterschiedliche Schwindung längs und quer.
- Ortsvariabler Werkzeuginnendruck (lange Fließwege) Mit der Fließweglänge nimmt der Spritz- und Nachdruck



ab, die Folge sind Schwindungsunterschiede über die Bauteillänge. Stabförmige Bauteile neigen dabei zum Verbiegen in der Stabachse.

- Ortsvariable Abkühlverhältnisse (ungleichmäßige Abkühlung) z. B. Masseanhäufung, Kerne, Durchbrüche, und die Schwindung an der wärmeren Seite ist größer.

Bild 6-10 zeigt, dass sich eine ebene Platte zur wärmeren Seite hin konkav verwölbt. Eine eingespannte membranartige Scheibe, Bild 6-11 [3] wird beulen infolge Schwindung des dicken Randes (Druckspannungen).

Abhilfemaßnahmen gegen Verzug können sein

- Masstemperatur / Nachdruck, wobei die Masstemperatur meist wirkungslos ist, der Nachdruck hilft nur ausnahmsweise.
- Werkzeugoberflächentemperatur
Gezielte Temperierung der verzugskritischen Bereiche hilft, problematisch sind schlanke Kerne.
- Gestaltsabweichung im Werkzeug vorhalten (gelingt meist nur in Iterationsschritten)
- Abkühlen unter Formzwang
Bauteil so weit im Werkzeug abkühlen lassen, bis Festigkeit ausreicht (problematisch ist eine lange Zykluszeit und die Entstehung von Eigenspannungen; bei Erwärmung über T_g erfolgt deren Abbau und meist Verzug)

6.1.2.3 Radien für Ecken und Kanten

Wie in Regel 2 betont, sollen Wanddickenunterschiede vermieden werden. Manchmal lassen sie sich aber konstruktiv oder aus Kostengründen nicht vermeiden.

Querschnittsänderungen sind bei zu kleinen Radien im Übergang kerbgefährdet; es entstehen Spannungsspitzen. Gleichung 2 betont die Geometrieabhängigkeit der maximal übertragbaren Spannung.

$$\sigma_{\max} = \alpha_K \cdot \sigma_N \quad (2)$$

- σ_{\max} : maximale Spannung
- α_K : Formzahl, geometrieabhängig
- σ_N : Nennspannung im Restquerschnitt

Bild 6-12 [4] verdeutlicht an einem abgesetzten Flachstab unter Biegung diese Geometrieabhängigkeit der Formzahl α_K .

Bild 6-13 zeigt den Einfluss des Ausrundungsradius auf die Reduktion der Spannungskonzentration im Kerbgrund.

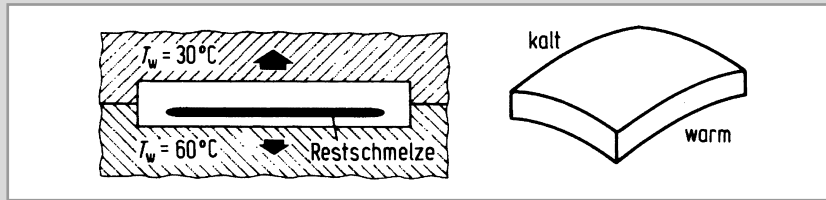
Sehr zu beachten sind auch neue Erkenntnisse aus der Natur [19, 20], wonach asymmetrische Übergänge (Parabelähnlich) deutlich günstiger sind als üblich kreisrunde Radien.

6.1.2.4 Rippen spritzgerecht gestalten

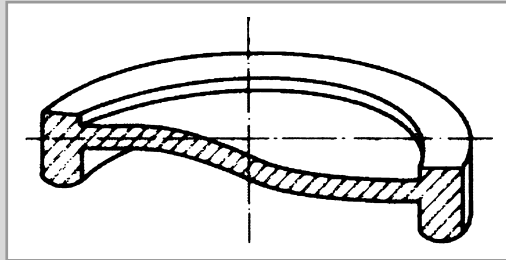
Die Erhöhung der Bauteilsteifigkeit kann verschieden erreicht werden.

- Wanddicke erhöhen

Da die Wanddicke in der 3. Potenz in die Steifigkeit eingeht, ist ihre Vergrößerung viel wirkungsvoller als der Wechsel zu einem anderen Werkstoff. Beim Spritzgießen von Thermoplasten verlängert sich dadurch die Zykluszeit empfindlich (Abkühldauer).

**Bild 6-10.**

Verformung einer ebenen Platte infolge Temperaturunterschiede im Werkzeug [3]

**Bild 6-11.** Beulen einer Membran infolge Schwindung des dickeren Außenrandes [3]

- Werkstoffwahl
- Sicken (i. d. R. um Faktor 1,8 steifer als Rippen gleicher Abmessungen und Masse)
- Bombierung einer Fläche
- Rippen

Die versteifende Wirkung einer Rippe wirkt sich erst bei einer Rippenhöhe von 5 bis 10 facher Wanddicke aus. Dabei kann die Rippenhöhe dem Verlauf des Biegemoments angepasst werden, also zu den unbelasteten Rändern hin abfallen.

G. Erhardt [3] widmet der Rippenversteifung ein ausführliches Kapitel. Hier werden nur einige besonders (wichtige) allgemeine Aspekte behandelt.

Bei der Rippenversteifung von Kunststoffbauteilen sind zu beachten:

- Rippenlage im Bauteil
- Rippenanzahl (Werkstoffaufwand)
- Einspannbedingungen der Rippen im Bauteil
- Rippendicke $s_R \approx 0,5$ bis $0,7$ s, s. Wanddicke Bauteil
- Kühlzeit beim Spritzgießen Bild 6-13 [3]
- Anspritzrichtung (Molekül- und Faserorientierungen)
- Rippenkreuzungspunkte
- Rippen bei Sonder-Spritzgießverfahren wie GIT, Sicken, blasgeformte Rippen oder bei anderen Verarbeitungsverfahren wie Pressen, Schäumen, Gießen (RIM, RTM)

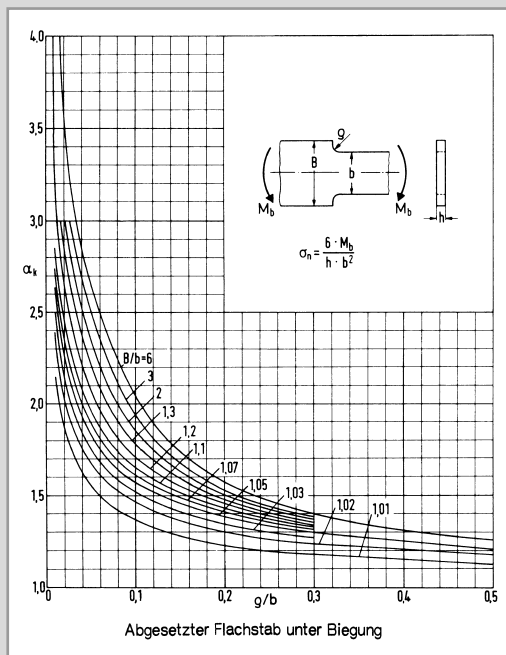
Mit den folgenden Bildern werden einige Erfahrungen beim Spritzgießen dokumentiert.

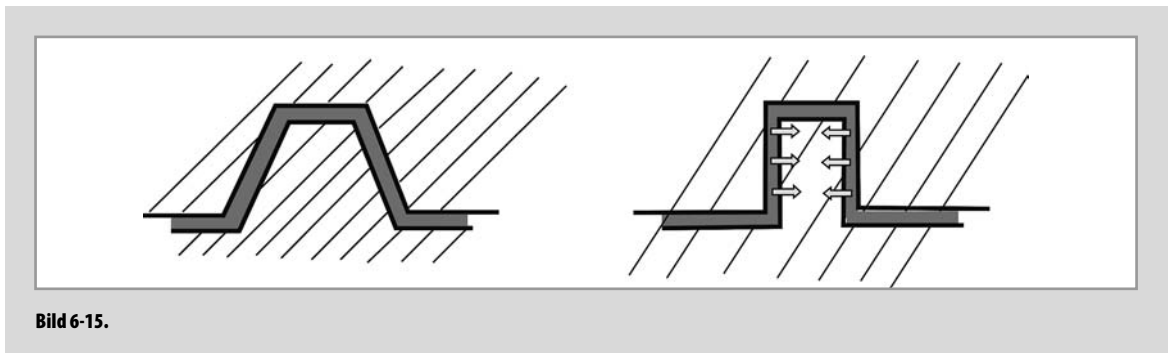
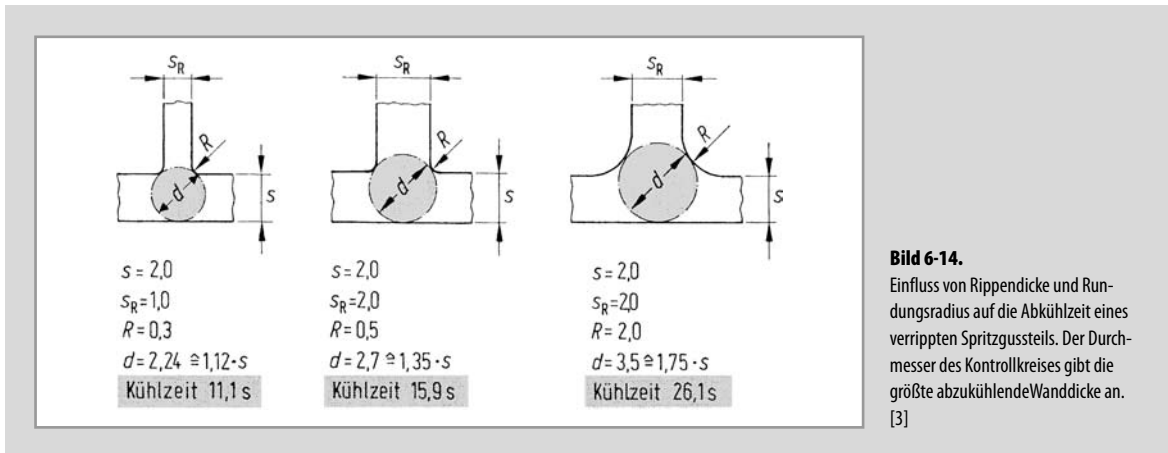
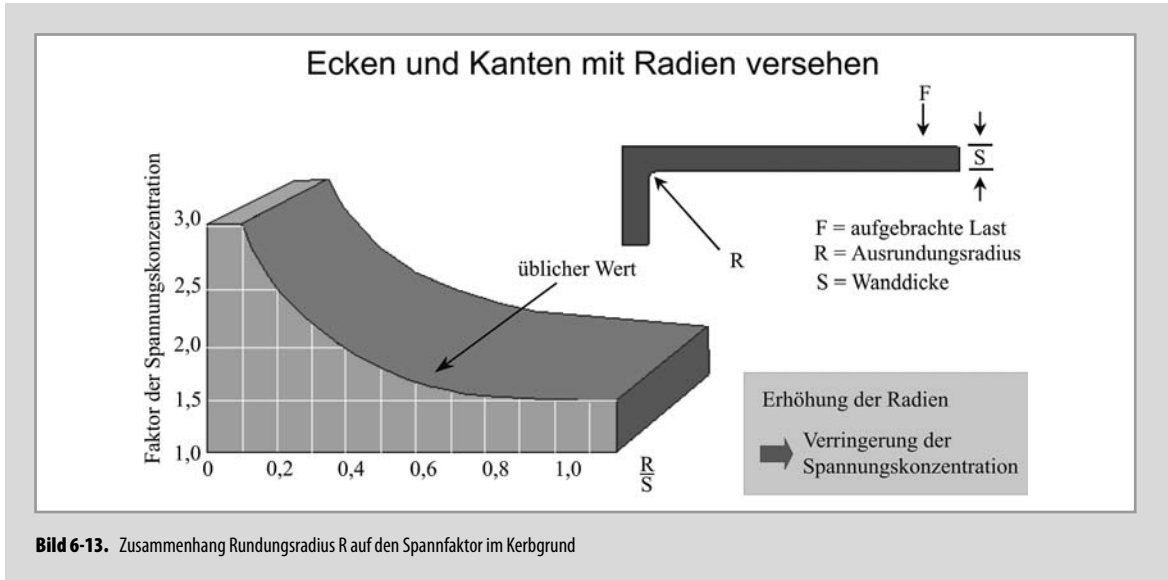
Es ist abzuwägen, ob die jeweils vorliegende Beanspruchung einen Radius erforderlich macht, oder ob die wirtschaftlichere Lösung mit einem kleineren Radius tragbar erscheint.

Die Anwendungen der richtigen Entformungsschräge bei Rippen ist besonders wichtig, Bild 6-15.

Der Kunststoff schwindet auf Werkzeugbereich wie z. B. Kerne auf. Damit das Formteil bei Auswerfen nicht zerstört wird, ist eine Entformungsschräge erforderlich.

Insbesondere genarbte Flächen benötigen je nach Lage zur Entformrichtung sehr viel größere Entformungsschrägen.

**Bild 6-12.** Formzahl α_k als Funktion von Verhältnis Kerbradius und reduzierter Stabbreite [4]



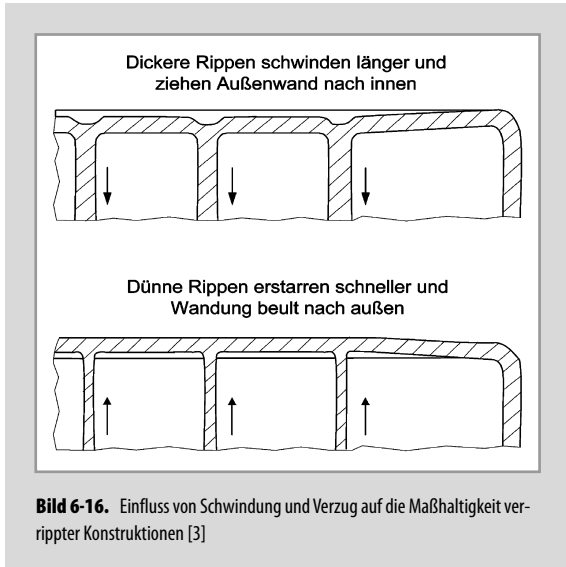


Bild 6-16. Einfluss von Schwindung und Verzug auf die Maßhaltigkeit verrippter Konstruktionen [3]

Tabelle 6-3 Entformungsschrägen für Rippen bei Thermoplast-Bauteilen

Werkstoff	Entformungsschräge	
	Bei niedriger Rippe (< 25mm)	Bei tiefer Rippe (> 25mm)
PBT	0–0,25°	0,5°
PBT GF	0,5°	0,5–1°
POM	0–0,25°	0,5°
PA	0,125°	0,25–0,5°
PA GF	0,2–0,5°	0,5–1°
PET	0,5°	0,5–1°

Tabelle 6-4 Richtwerte für Entformungsschrägen [5]

Werkstoff	Winkel in Grad
PA, POM, PE-HD, ABS, PP	0,5
PBT, SB	1
PS, SAN, PC	1,5

Die Verarbeitungsschwindung übt bei ungefüllten und gefüllten verrippten Thermoplastkonstruktionen einen weiteren gewichtigen Einfluss auf deren Maßhaltigkeit aus (siehe auch Kapitel 4.1.7).

6.1.2.5 Ebene Flächen vermeiden

Die Herstellung ebener Flächen im Spritzgießen gehört zu den schwierigsten Prozessen. Sie neigen zum Einfallen und Beulen, weil geringste örtliche Änderungen, wie beispielsweise unterschiedliche Abkühlung im Werkzeug, Schwindung infolge Wanddickenschwankungen, Nachschwindung, Nachdruck u. a. den labilen Schwebezustand der ebenen Flächen in die eine oder andere Richtung verziehen. So ist auch der Verzug bei ein und demselben Bauteil mit ebenen Flächen selten reproduzierbar, was Abhilfeempfehlungen erschwert.

6.1.2.6 Konizität (Entformung)

Die erstarrte und abgekühlte Schmelze schwindet auf die Werkzeugteile (z. B. Kerne) auf, die die Innenkontur des späteren Bauteiles formen.

Zusätzlich oder ausschließlich haftet das Formteil an den Außenkonturen des Werkzeuges. Um das spitzgegosene Bauteil entformen zu können, braucht man neben Formtrennmitteln Entformungsschrägen, Tabellen 6-3 und 6-4.

6.1.2.7 Hinterschneidungen

Mit dem Grad der Integration von Funktionen und Montagefolgeschritten (werkzeugfallende Bauteile) in das Verarbeitungswerkzeug nehmen dessen Komplexität und u. a. auch Hinterschneidungen und damit Werkzeugkosten zu. Zwangsentformungen überwinden bis zu einem gewissen Grad solche Hinterschneidungen. Entscheidend dabei ist, dass die zulässige Spannung (Streckspannung) bei der herrschenden Entformtemperatur nicht überschritten wird.

Für eine Zwangsentformung kreisförmiger Hinterschneidungen in einem dosenförmigen Teil ist für POM bei der Entformungstemperatur von 100 °C eine maximale Deckung von $\leq 3\%$ erlaubt. Damit liegt die zulässige maximale Streckspannung unter 18 MPa.

Werkzeugtechnisch löst man Hinterschneidungen mit beweglichen Schiebern auf, oder in komplizierten Situationen mit faltbaren Kernen (Innengewinde oder innenliegende Hinterschneidungen).

Eine weitere Möglichkeit zur Entformung von Hinterschneidungen bieten Schmelzkerne (für größte Stückzahlen) oder die Herstellung von Halbschalen und deren Verschweissen.

Zur Vermeidung von Hinterschnitten gibt es eine Reihe kreativer Lösungen. Bild 6-17 zeigt am Beispiel eines Schnapphakens eine Lösung.

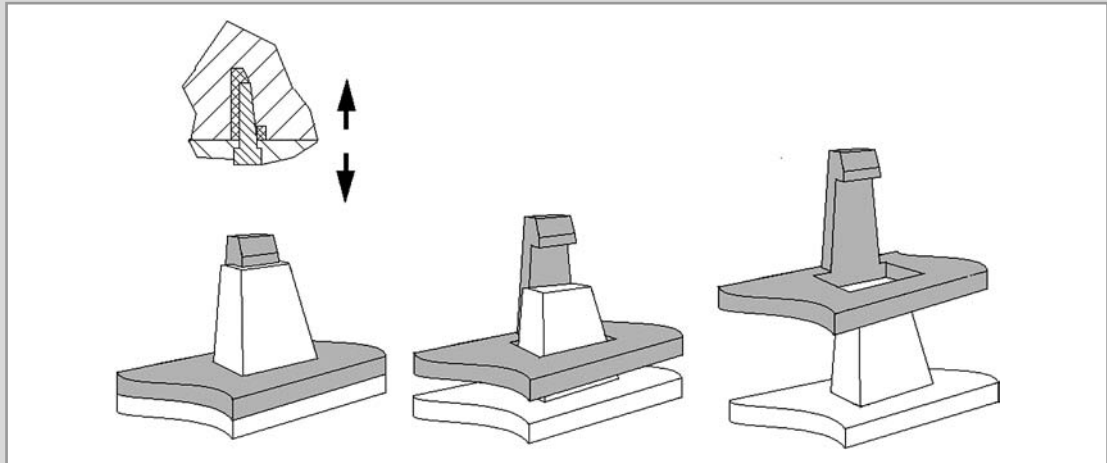


Bild 6-17. Vermeidung von Schiebern (Originalquelle unbekannt)

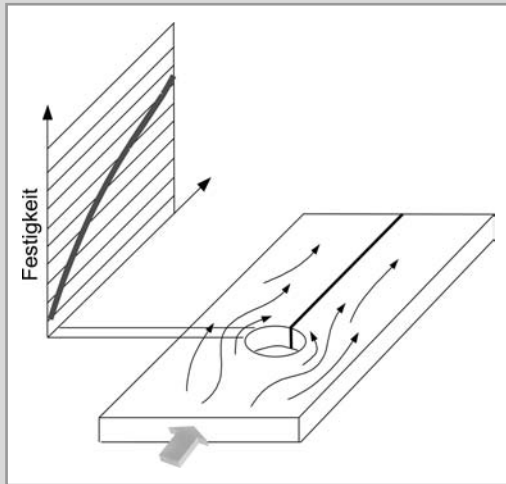


Bild 6-18. Bindenaht bei Durchbrüchen bzw. Bohrungen (Originalquelle unbekannt)

Die Lösung nach Bild 6-17 hat jedoch den Nachteil einer Bindenaht beim Zusammenfließen der Schmelzströme.

Bild 6-18 zeigt qualitativ die Festigkeit entlang der Bindenaht. Diese stellt eine deutliche lokale Schwächung dar, die mit der Entfernung verschwindet. Als Reduktion dieser Schwäche kann mehr und heissere Schmelze dienen und eine Wandverdickung. Dies ist besonders bei filigranen Strukturen (Schnappelementen) sehr wichtig. Besonders elegant ist es, die Lage der Bindenaht (Schwachstelle) über

die Lage des Angusses oder über Fließbremsen (lokal dünnere Querschnitte) in weniger beanspruchte Bauteilregionen zu verschieben.

So gelingt beispielsweise nach Bild 6-19 Lufteschlüsse im optischen Sichtfeld eines Bauteils durch Fließbremsen und damit durch Verschiebung des Zusammenschlusses der Schmelzeströme zu vermeiden.

Beitl [6] zeigt in dem auf praktischer Erfahrung basierenden Handbuch Vor- und Nachteile von Angusskanalarten samt einfacher Berechnungen der Leistungsfähigkeit auf.

Verfahrenstechnische Notwendigkeiten wie das Einbringen eines Staubodens zur Rückhaltung der kalten Masse, die Oberflächenbeschaffenheit von Angusskanälen, die Schmelzeströmung in Heißkanalverteilerblöcken, Angusskanal-Entformungen aus dem Werkzeug, optimale Größenbestimmungen sind behandelte Themen.

Müssen Schieber eingesetzt werden, sind Schrägschieber ohne Steuerung kostengünstiger als hydraulisch angetriebene Schieber. Dabei ist auf Werkzeugsicherungen bei Klemmen zu achten!

Das Beispiel eines spritzgegossenen Montageclips, Bild 6-20, zeigt die Vermeidung von Hinterschneidung und Schieber, durch die geschickte Wahl der Trennebene in einem kostengünstigen Auf-Zu-Werkzeug.

6.1.2.8 Bearbeitung, nur so genau als nötig

Überhöhte Toleranzanforderungen erzwingen keine höhere Qualität sondern führen vermutlich zu höherem Ausschuss. Daher soll ein Bauteil nur so eng toleriert werden wie es seine Funktionserfüllung erfordert.

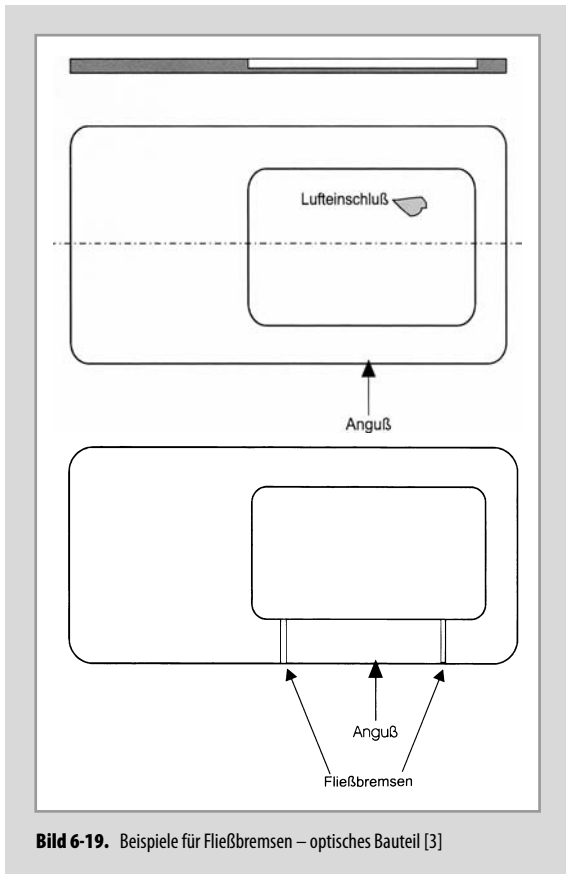


Bild 6-19. Beispiele für Fließbremsen – optisches Bauteil [3]

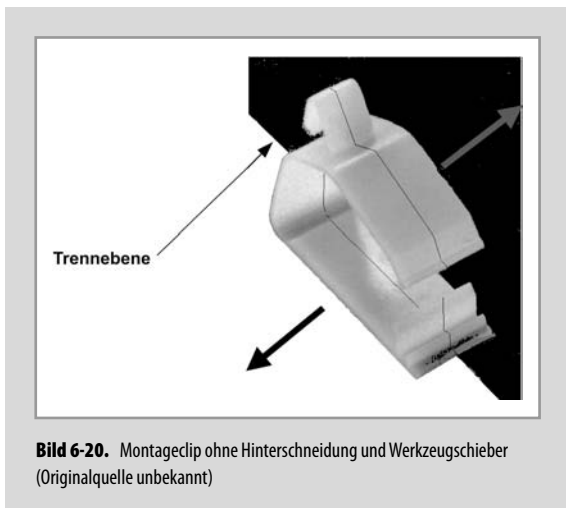


Bild 6-20. Montageclip ohne Hinterschneidung und Werkzeugschieber (Originalquelle unbekannt)

6.1.2.9 Möglichkeiten der Integration von Funktionen ausschöpfen (werkzeugfallende Bauteile)

Was in dieser Auflage auf das Spritzgießen beschränkt bleiben muss, gilt allgemein für alle Verarbeitungsverfahren (Pressen, Extrudieren, Rotationsgießen, Umformen u. a.). Allerdings hat jedes Verfahren seine spezifischen Chancen und Hemmnisse, mehr oder weniger Integration von Funktionen oder Folgeschritte zu realisieren. Das Spritzgießen bietet sich dazu infolge seiner enormen Variantenvielfalt besonders an.

Kunststoffbauteile werden durch Integration von Funktionen oder Prozessfolgeschritte in das Verarbeitungswerkzeug (werkzeugfallende Produkte) besonders wirtschaftlich. Wie oben schon ausgeführt, wird dadurch meist die Konstruktion des Werkzeuges komplizierter und damit teurer. Am Hochlohn-Standort Deutschland ist dies jedoch für großserienfähige Produktionen ein Vorteil. Die Werkzeugtechnik wird zum Alleinstellungsmerkmal im Wettbewerb zu Billig-anbietern aus anderen Ländern.

Wie alle neuen Technologien, so auch die der werkzeugfallenden Bauteile, bedarf es einer Schulung des Denkens und Handelns. Hier gibt es in Deutschland immer noch große Potentiale!

Im folgenden sollen bekannte und weniger bekannte Beispiele diese allgemeinen, einleitenden Sätze veranschaulichen.

Bekannte Beispiele

- metallische Einlegeteile wie Gewindebuchsen, Haken, Stecker u. a. sind Stand der Technik
- Einlegeteile aus Kunststoffen oder gebündelte Verstärkungen (Glas)-Fasern als Zugschlaufen oder Torsionsstäben sind schon seltener (s. unten)
- Gelenkverbindungen, wie das bekannte Beispiel des „werkzeugfallenden Affen“ (Fa. Ferromatik-Milacron [7], Bild 6-21, führen direkt zur Montage von Kunststoffbauteilen im Spritzgießwerkzeug, wie Befestigungselemente mit beweglichen Bügeln [8], Kugelgelenke [9], Verbindungsstecker [10] Lüfterklappe [11]
- lösbare Schraubenverbindung, im Spritzgießwerkzeug „montiert“, Bild 6-22, [12]
- Umbau, bei hinterspritzgegossenen Kunststoffbauteilen mit Dekoroberfläche, Bild 6-23, [12]
- gezielt kombinierte Werkstoffe im z. B. Mehrkomponentenspritzguss mit unterschiedlichem Längenausdehnungskoeffizienten und Deformationsverhalten, wie anschraubbare Mischerdüse an Wasserhähnen. Gittermembran besteht aus Polysiloxan-Gummi und reinigt sich bei Verkalkung von selbst (Neuheit auf K 04)

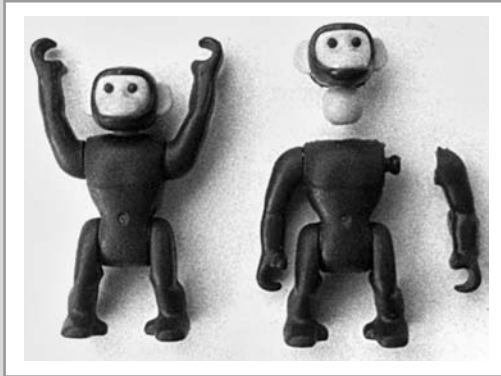


Bild 6-21. Gelenkverbindung: werkzeugfallender Affe [7]

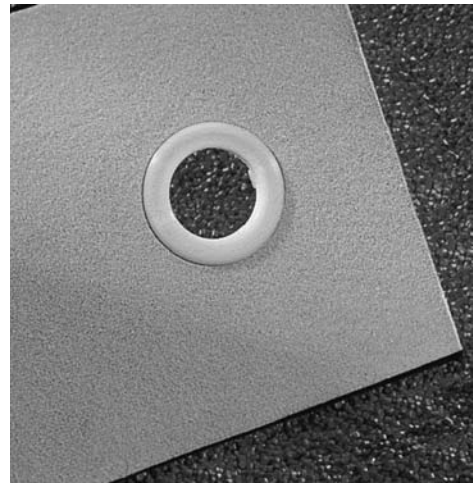


Bild 6-23. Umbug [12]

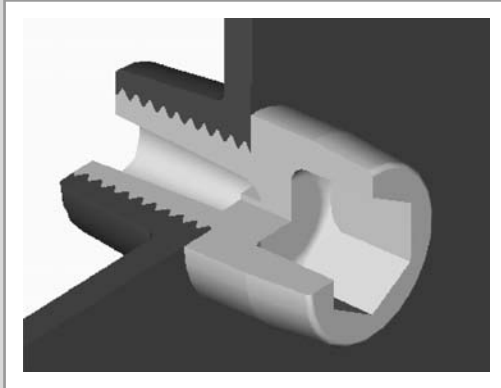


Bild 6-22. im SGW „montierte“, nach Produktnutzung lösbare Schraubverbindung [12]

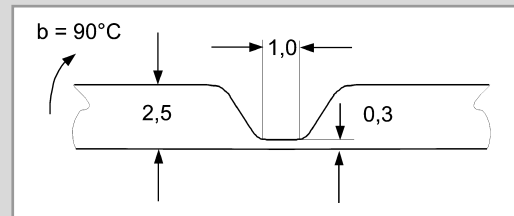


Bild 6-24. Abmessungen eines Filmscharniers

drehbares Werkzeug; 4 SGM

1. Rumpf
 - Material PA6 GF15
2. Kopf
 - Material PBT oder POM
 - PBT/POM und PA sind unverträglich
 - PBT/POM schwinden mehr als PA → Kopf beweglich
3. Haare, Augen
 - Material PE
 - PBT/POM und PE sind unverträglich
 - PE schwindet auf Kopf → Haare sind fest
4. Extremitäten
 - Material POM
 - POM und PA sind unverträglich

- POM schwindet geringer als PBT aber mehr als PA → dadurch Extremitäten schwerer beweglich (Position wird gehalten) als Kopf bei Variante PBT
- Filmscharniere, sind als Verbindung zweier beweglicher Teile in das Spritzgießen von Kunststoffbauteilen integrierbar, Bild 6-24.

Berechnungsgrundlagen sind vorhanden [3], [13], [14], Bild 6-25.

Die Anforderungen an den Werkstoff sind

- hohe Zähigkeit
- leichte Verformbarkeit
- hohe Biegewechselfestigkeit im orientierten Zustand

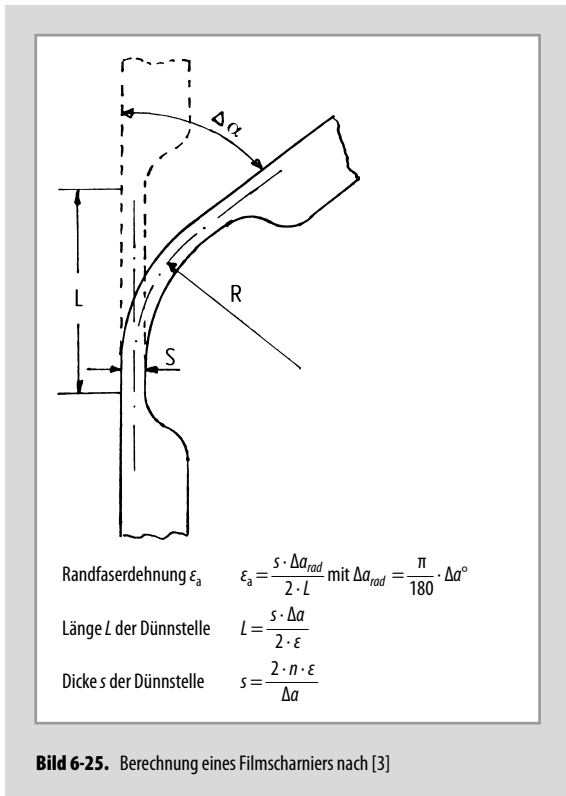


Bild 6-25. Berechnung eines Filmscharniers nach [3]

Für Filmscharniere werden daher diese Werkstoffe eingesetzt: PE, PP auch verstärkt, POM, PBT, thermoplastische Elastomere. Bei nur einmaligem Fügen können auch andere Kunststoffe wie PA GF eingesetzt werden.

Tabelle 6-5 stellt Dehnungskennwerte für ausgewählte Kunststoffe und gemessen an Filmscharnieren gegenüber [3].

Das folgende Beispiel, auch aus [3], verdeutlicht die Zusammenhänge.

Beispiel:

Wie groß sollte die Länge eines Filmscharniers (Länge der Dünnstelle) sein, wenn dieses bei einem Biegewinkel von 180° mindestens 10^4 Lastwechsel ertragen soll?

Dicke der Dünnstelle = 0,3 mm

Sicherheitsbeiwert = 1,5

Werkstoffe: POM, alternativ PP

$$\text{für POM: } L = \frac{s \cdot \Delta\alpha}{2 \cdot \epsilon} = \frac{0,3 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 1,5}{2 \cdot 35} = 2,0 \text{ mm}$$

$$\text{für PP: } L = \frac{s \cdot \Delta\alpha}{2 \cdot \epsilon} = \frac{0,3 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 1,5}{2 \cdot 60} = 1,17 \text{ mm}$$

Weniger bekannte, neuere (z. Tl. visionäre) Beispiele für Integration von Funktionen

- ein spritzgegossener werkzeugfallender PKW-Kühler, ggf. mit Aluminiumlamellen als Einlegeteil, verbindet die Gasinnendruck-Technik (GIT) mit werkstofflichen Neuerungen aus dem Bereich der immiscible blends, Bilder 6-26, 6-27 und 6-28; ausführlicher ist das Beispiel in [15] beschrieben.
- werkzeugfallende monostoff Instrumententafel mit spritzgegossenem oder gepresstem langglasfaserverstärktem Träger aus PP, PP-Schaum und PP Integrkant mit 1,5 Spritzgießwerkzeugen, Bild 6-29. In das Werkzeug eingekoppelte Mikrowellen schäumen die PP-beads auf.
- über die Wahl neuer Treibmittel mit Aktivierungstemperaturen oberhalb der Polymerschmelztemperatur lassen sich, wiederum über Mikrowellen, örtliche Aufschäumungen innerhalb oder außerhalb des Verarbei-

Tabelle 6-5 Dehnungskennwerte für einige Polymerwerkstoffe, gemessen nach ISO 527, und als bauteilspezifische Werte gemessen an Filmscharnieren [3]

Werkstoffe	Streckdehnung ϵ_y in %	Nominelle Dehnung ϵ_t in %	Dehnungsausschlag ϵ_a in % nach 10^4 LW	Dehnungsausschlag ϵ_a in % nach 10^5 LW
PP (1100L)	10	> 50	60	60
PA 6 (B3K, feucht)	20	> 50	55	45
PA 66 (A3K, feucht)	20	> 50	50	40
PA 66–GF30 zähmodifiziert (A3ZG6)	5 Bruchdehnung	*	4	3
POM (H2320)	10	35	35	30
POM–GF15 (N 2200 G3)	3 Bruchdehnung	*	3	2
PBT (B 4500)	3,5	> 50	25	20

* Werkstoffkennwert trifft für diesen Werkstoff nicht zu

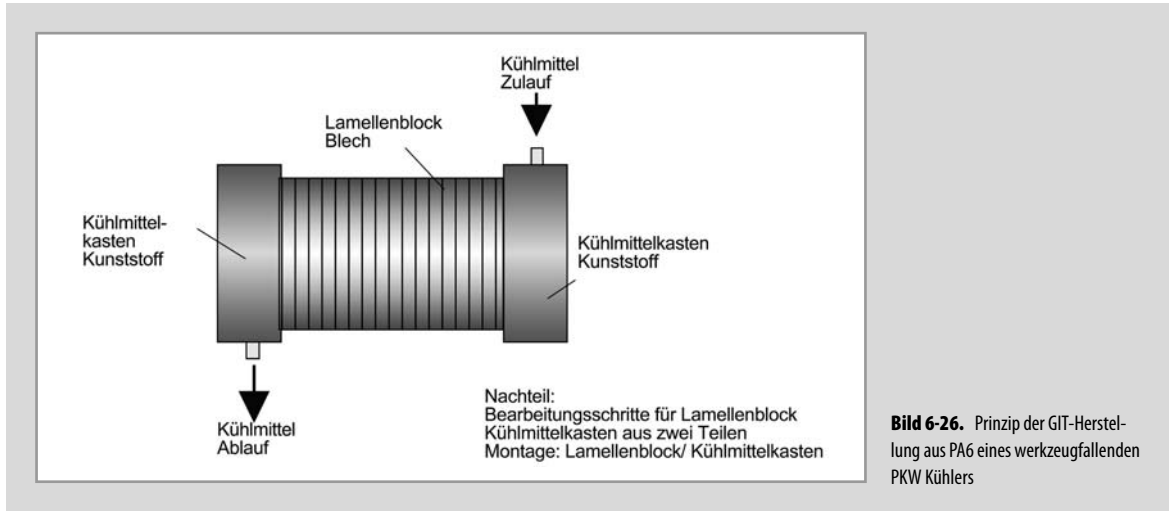


Bild 6-26. Prinzip der GIT-Herstellung aus PA6 eines werkzeugfallenden PKW Kühlers

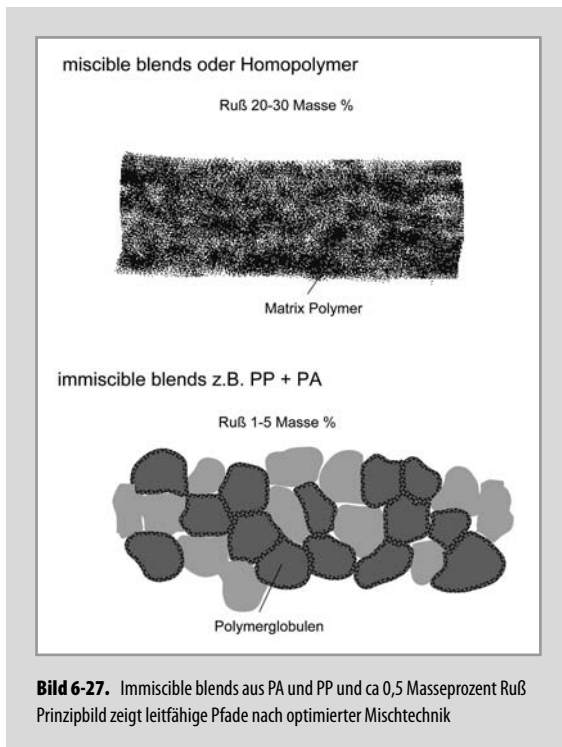


Bild 6-27. Immiscible blends aus PA und PP und ca 0,5 Masseprozent Ruß
Prinzipbild zeigt leitfähige Pfade nach optimierter Mischtechnik

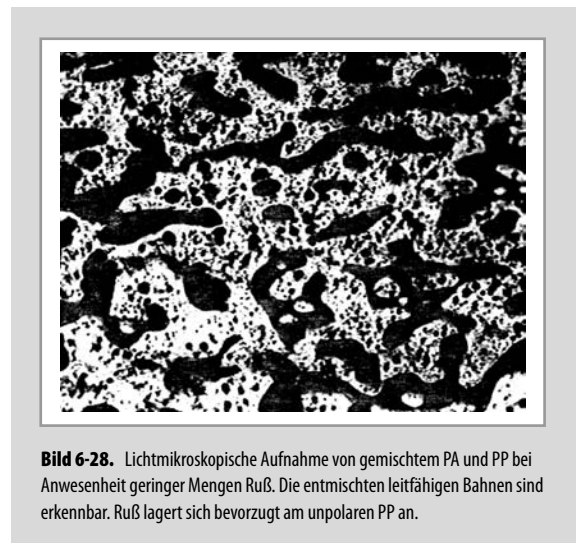


Bild 6-28. Lichtmikroskopische Aufnahme von gemischtem PA und PP bei Anwesenheit geringer Mengen Ruß. Die entmischten leitfähigen Bahnen sind erkennbar. Ruß lagert sich bevorzugt am unpolaren PP an.

tungswerkzeuges erreichen, beispielsweise auch bei Textilien (Schutz bestimmter Körperteile) oder bei Verpackungen (Ecken, Kanten u. a.), Bild 6-30, [16].

- EMV-Abschirmungen von Kunststoffgehäusen oder einzelne Leiterbahnen lassen sich über metallfaserverstärkte

Kunststoffe durch ein Anlegen von Magnetfeldern an das Spritzgießwerkzeug im Schmelzzustand des Polymer erreichen, Bild 6-31 und 6-32, [16].

- Einlegen von Glasfasergeweben zur örtlichen Versteifung von langglasfaserverstärkten Kunststoffen (PP, PA, PBT, PC u. a. im LFT-D-Verfahren (Pressen). Beispiele dafür sind frontend, Unterboden, IT, Pedaleriewand, Rückswand u. a., Bild 6-33, [17]

Das nächste Beispiel eines coextrudierten Fensterrahmens, der außen aus dem bewährten witterungsbeständigen PVC und innen aus einem aus nachwachsenden Rohstoffen

1. Pressen des LFT-D-Trägermaterials mit schäummittelhaltiger Außenschicht
2. Aktivierung des Schaums unter Ausbildung einer Integralschaumschicht als Sicht-Oberfläche

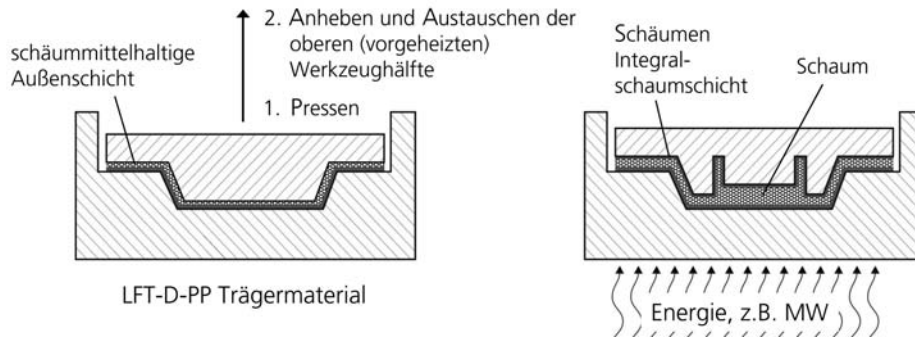
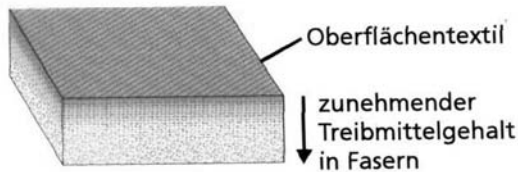


Bild 6-29. Ablaufprinzip zur Herstellung einer werkzeugfallenden PKW-Instrumententafel, [15]



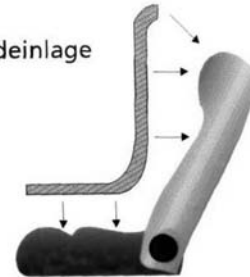
Vorteile

- Monostoffverbund
- formschlüssige Haftung
- einfache kostengünstige Verarbeitung

Anwendungen:

Kfz Innenraum (Türseitenverschalung), Möbel etc.

1. Schritt Textilverbundeinlage aufbringen



2. Schritt Erwärmen Untere Textillagen schäumen auf

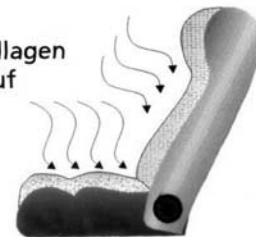


Bild 6-30. Schematische Darstellung von örtlich aufgeschäumten Schutzzonen bei Produkten, [16]

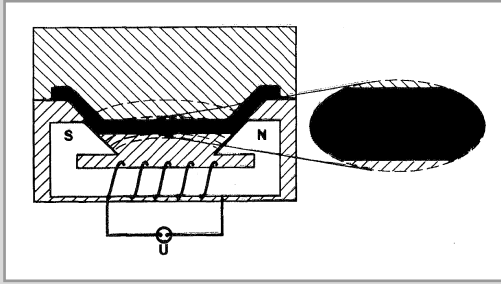


Bild 6-31. Prinzip der Verschiebung von magnetischen Füllstoffen in Polymeren während der Verarbeitung [16]

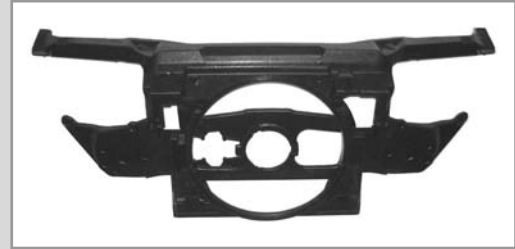


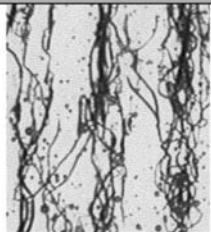
Bild 6-33. Front-end Struktur aus PP GF LFT-D mit örtlicher Glasfasergewebe-Verstärkung im Bereich des oberen (rückseitig stark verrippten!) Biegeträgers (Fraunhofer ICT)

Konventionell



Magnetfeld im Werkzeug

Nordpol



Südpol

Bild 6-32.

Lichtmikroskopische Aufnahmen von örtlich aufkonzentrierten Metallfasern in PMMA durch Magnetfelder in der Schmelzphase [16]

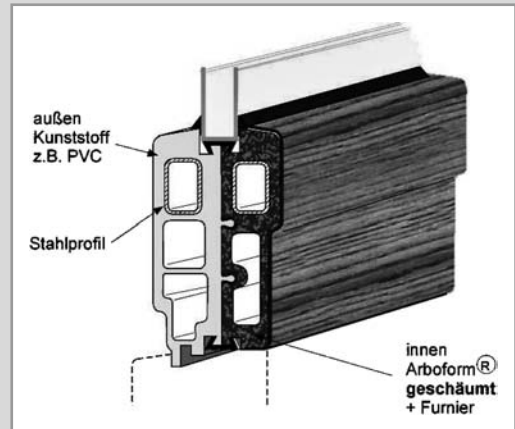


Bild 6-34. Coextrudiertes Fensterprofil aus PVC außen und Arboform® innen, [18]

Literatur zu Kapitel 6.1

- [1] Kulik N (1999) Dünnwandtechnik. Kunststoffe 89 (1999) 9, S 92-96
- [2] NN (1992) Ultraform. BASF Firmenzeitschrift
- [3] Erhard G (2004) Konstruieren mit Kunststoffen. 3. Aufl, Hanser Verlag, München
- [4] Dietmann H (1992) Einführung in die Elastizitätslehre und Festigkeitslehre. 3. Aufl, Kröner Verlag Stuttgart, 170 S, Abb. A6
- [5] Wimmer D (1989) Kunststoffgerecht Konstruieren. Hoppenstedt, Darmstadt
- [6] Beil F (2006) 1000 Tipps zum Spritzgießen. Bd 3: Angusskanaltechnik – Grundlagen mit Praxisanleitungen. Hüthig, Heidelberg, ISBN-10: 3-7785-3989-2

(Arboform®: Lignin + Miscantusfasern) mit geschäumtem Innenprofil und dicker Integralschicht besteht, verdeutlicht auch die Kreativität der Funktionenintegration beim Extrudieren, Bild 6-34, [18].

- [7] NN (1982) Werkzeugfallender Affe. Fa. Ferromatik-Milacron
- [8] Fa Fischer Werke, Tumlingen
- [9] Fa. Unimog, Mannheim
- [10] Fa. Bosch, Waiblingen
- [11] Fa. VW, Wolfsburg
- [12] Fraunhofer ICT, Pfnzital
- [13] NN Filmgelenk aus technischen Kunststoffen. Firmenschrift Nr. B.3.5, Hoechst
- [14] NN Technische Informationen für Experten. BASF, Nr. 02/96
- [15] Eyerer P (1999) Werkzeugintegrierte Montage. In: Kunz J et al. (1999), Augsburg: WEKA 1999 ff, Teil 3, Kapitel 7.3, S 1–3
- [16] Eyerer P, Elsner P (1985) Using plastics to make new products. Journal of Polymer Engineering 18(1998)5, S 301–339
- [17] Henning F et al. (2001) Load Oriented One-Step-TWINTeX-Sandwich Structure. Paper R910, SPE First Annual Global Autom. Comp. Conference, September 19th–20th
- [18] Eyerer P (2002) Kunststofftechnik heute und übermorgen. Vortrag auf dem 13. IST Techno-Apéro, Schaffhausen, 19. November 2002
- [19] Mattek C (2006) Verborgene Gestaltgesetze der Natur. Optimalformen ohne Computer. Forschungszentrum Karlsruhe, 126 S, ISBN-10 3-923704-53-4
- [20] Mattek C (2003) Warum alles kaputt geht. Form und Versagen in Natur und Technik. Forschungszentrum Karlsruhe, 208 S, ISBN 3-923704-41-0

Weiterführende Literatur

Ticona Technologie Literatur (CD):

- B.1.1 Stirnradgetriebe mit Zahnradern aus Hostaform, Celanex und GUR
Die Broschüre beschreibt Anforderungen an Stirnradgetriebe, stellt Werkstoffe und Werkstoffpaarungen vor und erläutert die Berechnung von gerad- und schrägverzahnten Zahnradern. Berechnungs- und Anwendungsbeispiele runden die Broschüre ab. April 1997/6. Aufl
- B.2.2 Schneckengetriebe mit Schneckenrädern aus Hostaform. Die Broschüre enthält Belastungskennwerte, mit deren Hilfe Schneckengetriebe und Schneckenräder aus Hostaform ausgelegt werden können. Berechnungsbeispiele erläutern die Anwendung. Dezember 1992/5. Aufl
- B.2.3 Gleitlager aus technischen Kunststoffen. Messungen an Kunststoff Gleitlagern aus verschie denen Werk-

stoffen - Hinweise zum Einbau – Anwendungsbeispiele. August 2000

- B.3.5 Filmgelenke aus technischen Kunststoffen. Die Broschüre beschreibt Herstellverfahren, Werkstoffe und die Berechnung von Filmscharnieren, enthält die dafür erforderlichen Werkstoff-Kennwerte und gibt Verarbeitungshinweise. Den Abschluss bilden Berechnungs- und Anwendungsbeispiele. Januar 1996/3. Aufl

darin zitierte Literatur:

B.1.1:

- Niemann G, Winter H Maschinenelemente. Bd II, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York/ Tokio, 1985
- VDI 2545 Zahnräder aus thermoplastischen Kunststoffen.
- DIN 3960 Begriffe und Bestimmungsgrößen für Stirnräder und Stirnradpaare mit Evolventenverzahnung
- DIN 58 405 Stirnradgetriebe der Feinwerktechnik
- DIN 58 400 Bezugsprofil für Stirnräder mit Evolventenverzahnung für die Feinwerktechnik
- DIN 867 Bezugsprofil für Stirnräder mit Evolventenverzahnung für den allg. Maschinenbau
- DIN 3964 Achsabstandsabmaße und Achslagetoleranzen von Gehäusen für Stirnradgetriebe
- DIN 3967 Getriebe-Passsystem, Flankenspiel, Zahndickenabmaße und Zahndickentoleranzen, Grundlagen, Berechnung der Zahndickenabmaße, Umrechnung der Abmaße für die verschiedenen Messverfahren
- Hachmann H, Strickle E Polyamide als Zahnradwerkstoffe. Konstruktion 18 (1966) 3

B.2.2:

- DIN 3975 Begriffe und Bestimmungsgrößen für Zylinderschneckengetriebe mit Achswinkel 90°
- Thomas A K, Charchut W Die Tragfähigkeit der Zahnräder. Carl-Hanser Verlag, München, 1971
- Klein B Wirkungsgrad und Selbsthemmung an Schneckengetrieben. ant. Antriebstechnik 19 (1980) 9
- Debrunner R: Wirkungsgrade von Klein-Schneckengetrieben und ihre Beeinflussungsfaktoren. ant. Antriebs-technik 19 (1980) 11
- Schmidt H Schneckengetriebe mit Schneckenrädern aus Hostaform. ant. Antriebstechnik 24 (1985) 3

B.2.3:

- Bartz W J et al. Selbstschmierende und wartungsfreie Gleitlager. Expert Verlag, 1993
- ISO/FDIS 7148-22 1999 (E) Plain bearings – Testing of the tribological behaviour of bearing materials – Part 2: Testing of polymer-based bearing materials; 1999 E

- DIN ISO 4378-2 Gleitlager – Begriffe, Definitionen und Einteilung – Teil 2: Reibung und Verschleiß. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1999
 - Halach G Gleitreibungsverhalten von Kunststoffen gegen Stahl und seine Deutung mit molekularmechanischen Modellvorstellungen. Dissertation Uni Stuttgart, 1974
 - Erhard G, Strickle E Gleitelemente aus thermoplastischen Kunststoffen. Kunststoffe 62 (1972), Teil 1: S 2–9, Teil 2: S 232–234, Teil 3: S 282–288
 - VDI-Richtlinie 2541 Gleitlager aus thermoplastischen Kunststoffen, 1975
 - DIN ISO 6691 Entwurf: Thermoplastische Polymere für Gleitlager; Klassifizierung und Bezeichnung. Januar 1999
 - Ticona GmbH Fortron Chemical Resistance Guide, Version 3.0.
 - Ticona GmbH GUR; Beständigkeit gegen Chemikalien und andere Medien.
 - Ticona GmbH Werkstoffbroschüre GUR
 - Untersuchungsbericht der Forschungsgesellschaft für Uhren- und Feingeräte-Technik e.V. Stuttgart vom 26.03.1981
 - Flöck J, Friedrich K Bestimmung des Haftreibungskoeffizienten verschiedener POM-Paarungen. IVW-Bericht 97-84, Kaiserslautern, 1997
 - Erhard G Konstruieren mit Kunststoffen. Hanser Verlag, München, Wien, 1993
 - Ticona GmbH B.3.4 Berechnen von Pressverbindungen
 - Ticona GmbH C.3.5 Outsert-Technik mit Hostaform
 - Ticona GmbH C.3.3 Gestalten von Formteilen aus technischen Kunststoffen
 - Erhard G, Strickle E Maschinenelemente aus thermoplastischen Kunststoffen. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1978
 - Detter H, Holecek K Der Reibungswiderstand und die Beanspruchung von feinmechanischen Lagern im Trockenlauf bei kleinen Gleitgeschwindigkeiten. Feinwerktechnik 74 (1970) 11
 - Meldt R, Röber H Polyacetale und Polyalkylenterephthalate helfen Gleitprobleme lösen. Konstruktion 25 (1973) S 357–363
- B.3.5:
- VDI/VDE 2252, Blatt 9: Feinwerkelemente; Führungen, Federgelenke (Entwurf Oktober 1987)
 - Löw W Blasformen von technischen Teilen aus Polypropylen. Kunststoffe 78 (1988) 12, S 1155–1160
 - Lutz C, Polsack A Morphologische Veränderungen von i-Polypropylen bei einachsiger Zugbeanspruchung. Mitteilung aus dem Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde (IKP), Universität Stuttgart
- DIN 53 442 Prüfung von Kunststoffen, Dauerschwingversuch im Biegebereich an flachen Probekörpern. Entwurf August 1988
 - Schmidt H Filmgelenke aus verstärktem Polypropylen und aus Acetalcopolymersat. Plastverarbeiter 34 (1983) 9, S 774–780
 - Weißmantel H, Kapp L Filmgelenke zur Funktionsintegration bei Kunststoffteilen. Feinwerktechnik und Messtechnik 93 (1985) 2, S 89–91
- C.3.5 Outserttechnik mit technischen Kunststoffen
- Mit der Outsert-Technik lassen sich Kunststoff-Funktionsteile auf beide Seiten einer metallischen Platine spritzgießen. Die Broschüre enthält eine kurze Beschreibung der geeigneten Hostaform-Typen und der Platinenwerkstoffe und gibt dann detaillierte Hinweise zur Konstruktion der unterschiedlichen Funktionselemente (z.B. Gleitlager, Biegefedern, Führungen, Schnappverbindungen, drehbare Funktionsteile). Hinweise zur Angußtechnik und zur Konstruktion des Spritzgießwerkzeugs sowie Anwendungsbeispiele vervollständigen die Informationen.
- A.2.1 Mechanische Beanspruchungen an Bauteilen aus technischen Kunststoffen. Mit dieser Broschüre soll der Konstrukteur in die Lage versetzt werden, Bauteile aus Technischen Kunststoffen anhand einer Festigkeitsberechnung zu dimensionieren. Dabei werden die aus äußeren Kräften und Momenten und die aus aufgezogenen bzw. behinderten Formänderungen resultierenden Spannungen im Bauteil ermittelt. Datum
- C.3.3 Gestalten von Formteilen aus technischen Kunststoffen. Drei Faktoren bestimmen die Qualität eines Kunststoff-Formteils: die Eigenschaften der Formmasse (z.B. Molmasse, Kristallinität, Schwindung, Zeitstand- und Alterungsverhalten), ihre Verarbeitung (Masse- und Werkzeugtemperatur, Orientierungen, Eigenspannungen) sowie die Formteilgestaltung (Kerbwirkung, Verformungsbehinderung). Die Broschüre behandelt diese Einflussgrößen und erläutert, wie eine kunststoffgerechte Gestaltung bei teilkristallinen technischen Thermoplasten zu Formteilen mit hoher Gebrauchstauglichkeit führt. Datum
- C.3.4 Richtlinien für das Gestalten von Formteilen
- Nach einer allgemeinen Darstellung des Zusammenhangs mit den Verarbeitungsbedingungen beschreibt die Broschüre für über 20 charakteristische Geometrien, wie eine gute Übereinstimmung mit der Sollform zu erreichen ist. Anwendungsfotos zeigen, wie sich konstruktiv bedingte Fehlstellen vermeiden lassen. Datum

- Berger K-F, Kiefer S (Hrsg) Dichtungstechnik. Jahrbuch 2007, (Fachbuchreihe 2004, 2005, 2006), isgatec, Mannheim, 2007
- Bilas I Antimikrobielle Ausrüstung von 3D-Gewirken. Kunststoffe 97 (2007) 2, S 90–91
- Campo EA (2006) The Complete Part Design Handbook. Hanser Verlag, München, ISBN-10 3-44640309-4
- Cronau T, Schmidt H Spiegeloptik ohne sichtbare Bindenähte. Kunststoffe 96 (2006) 11, S 49–51
- Essinger J Heißkanäle für flammwidrig eingestellte Polyamide (maschinenschonend Spritzgießen). Kunststoffe 97 (2007) 2, S 48–50
- Finis F Druckbehälter aus thermoplastischen Werkstoffen. Universität Kassel, Dissertation 2005, Kassel, 183 S ff Medizin
- Jakob T Mehrkomponententechnik im Reinraum. Kunststoffe 97 (2007) 2, S 92–94
- Joachimi D, Zimmol R, Meinerding L (2007) Rohrsysteme im Motorraum. Kunststoffe 97(2007)11, S 126–128
- Kaufmann G, Buchet Y (2007) Duo-Lamination für mehrfach dekorierte Teile – Kosteneffiziente Verfahrensin-tegration. Kunststoffe 97(2007)3, S 88–90
- Kniesbein B et al. Befüllen einer flexiblen Folienverpackung. Kunststoffe 97 (2007) 2, S 83–89
- Kunststoffe Automotive Special: Konstruktiver Leichtbau. Kunststoffe 97(2007)1, S 80–98
- Loerwald D, Seul Th (2007) Patientengerechtes Produktdesign (Blutzuckermessgeräte). Kunststoffe 97(2007)7, S 83–86
- Methner M Laser-Sintern als Patentrezept. Kunststoffe 97 (2007) 2, S 78–79
- Michaeli W, Michaelis I Verschlussysteme für die Herz-scheidewand. Kunststoffe 97 (2007) 2, S 96–97
- Moritzer E Scheinwerferkomponenten aus Duroplast. Kunststoffe 96 (2006) 11, S 112–115
- NN 6-fach-Heißkanalwerkzeug für Kaffeeglas-Deckel (Praxisbeispiel). Kunststoffe 97 (2007) 2, S 56–57
- NN 16-fach-Heißkanalwerkzeug für medizinische Verpackungsteile (Praxisbeispiel). Kunststoffe 96 (2006) 11, S 56–57
- Paulmann D Drahtzieher im Hintergrund – Heißkanallösung für Endkappe. Kunststoffe 96 (2006) 11, S 52–55
- Römer M (2007) Modulare Konzepte für leichte Motoren (Zylinderkopfschaube, Ölabscheider, Saugrohre, Steuer- und Regelklappen, Steckverbinder). Kunststoffe 97 (2007)3, S 102–105
- Schuck M, Kuhnert I, Schmachtenberg E (2007) Fachtagung Montagespritzgießen (Tagungsband). LKT Erlangen, November 2007, 262 S
- Siebert A et al. (2007) Kunststoffgehäuse auf dem Motorenprüfstand. Kunststoffe 97(2007)11, S 129–132

- Sonntag R Automatisierungskonzepte im Reinraum. Kunststoffe 97 (2007) 2, S 80–82
- Stauber R, Vollrath L (Hrsg) (2007) Plastics in Automotive Engineering. Hanser Verlag, München, 407 S, ISBN 978-3-446-41120-3
- Zimmol R, Klocke M (2007) Konstruieren mit neuen Freiheiten (hochgefüllte Polyamid6-Typen). Kunststoffe 97(2007)9, S 232–236
- Zuber R, Hintenlang G, Bader S (2007) Bei hohen Temperaturen belastbar – Radial-Wellen-Dichtringe RWDR. Kunststoffe 97(2007)3, S 106–108

6.2 Fügen und Verbinden

Dieses wichtige Kapitel kann erst zur nächsten Auflage (2010 zu erwarten) vervollständigt werden.

Bild 6-35 aus DIN 8580 gibt einen Überblick zu Fertigungsverfahren der Fügetechnik.

Die angefügten Quellen mögen eine Vertiefung erlauben.

6.2.1 Kunststoffschweißen

Helmut Schüle

Das thermomechanische Verhalten von Kunststoffen unterscheidet sich signifikant von dem der Metalle – während metallische Werkstoffe klare Phasenübergänge von fest nach flüssig bzw. von flüssig nach gasförmig aufweisen, beginnen thermoplastische Kunststoffmaterialien bei der so genannten Glastemperatur T_g weich zu werden und sukzessive bei Temperaturerhöhung die Viskosität zu verringern. Die Viskosität bleibt aber weit über der der flüssigen Metalle. Bei höheren Temperaturen beginnen sich Polymere in der Regel zu zersetzen; sie werden geschädigt.

Beim Prozess des Schweißens wird der Werkstoff der zu fügenden Teile in der Fügezone durch Zufuhr von Energie (Wärme) in den schmelzeflüssigen Zustand überführt und beide Teile werden unter Druck zusammengefügt. Daraus geht hervor, dass aus den drei Werkstoffgruppen Duroplaste, Thermoplast und Elastomere sich nur Thermoplaste verschweißen lassen, da nur sie in den Schmelze-(thermoplastischen) Zustand überführt werden können.

Um die zu schweißenden Werkstoffe in den plastischen Zustand zu überführen, kommen folgende physikalische Prozesse zur Anwendung:

- Wärmeleitung . . . → Schweißen mit festen Körpern
→ Schweißen mit Materialzufuhr
- Konvektion → Schweißen mit Gas
- Strahlung → Schweißen mit Strahl
- Reibung → Schweißen mit Bewegung
- Induktion → Schweißen mit Strom



<http://www.springer.com/978-3-540-72402-5>

Polymer Engineering

Technologien und Praxis

(Eds.) P. Eyerer; Th. Hirth; P. Elsner

2008, Hardcover

ISBN: 978-3-540-72402-5