

## ■ 1.1 Partner bei der Produktionsvorbereitung von Kunststoffteilen

Kunststoff-Formteile werden in allen denkbaren Branchen eingesetzt. Typische Einsatzgebiete sind der Automobilbau, die Medizintechnik, der Geräte- und Maschinenbau, die Elektrotechnik sowie viele weitere Einsatzgebiete. Zur Herstellung von Formteilen wird immer eine Verarbeitungsmaschine inklusive der dazugehörigen peripheren Technik benötigt, welche vom Kunststoffverarbeiter vorgehalten wird.

Für ein Formteil wird ein spezielles Formwerkzeug benötigt, welches nur zur Herstellung eines Formteils verwendet werden kann. In seltenen Ausnahmen kann mit einem Werkzeug eine Gruppe von Formteilvarianten hergestellt werden.

Durch diese exklusive Verwendung der Formwerkzeuge ergibt sich, dass der Formteilbesteller auch im Regelfall der Eigentümer der Werkzeuge ist. Da dieser aber meist nicht über die erforderliche Verarbeitungstechnik verfügt, befinden sich die Werkzeuge in der Regel beim Kunststoffverarbeiter.

Hergestellt werden die Werkzeuge von einem Werkzeugbaubetrieb. Diese Konstellation bringt insbesondere in der Produktionsvorbereitungsphase einige Schwierigkeiten mit sich.

Die Firma, die einen Bedarf an Kunststoffteilen mit bestimmten Eigenschaften hat, bestellt diese und die zu deren Herstellung erforderlichen Formwerkzeuge bei einer kunststoffverarbeitenden Firma. Diese wiederum bestellt ein hinreichend spezifiziertes Werkzeug bei einem Werkzeugbauunternehmen.

Diese Vorgehensweise ist durchaus sinnvoll, um die Werkzeuge auf die Besonderheiten und Ausstattungsmerkmale der kunststoffverarbeitenden Firma abzustimmen.

Die Ursache für Abweichungen der Kunststoffteile von den Vorstellungen des Bestellers eines Bauteils kann im Werkzeug, in der Verarbeitung und in der Gestaltung des Kunststoffteils liegen.

Die Voraussetzung für das Erreichen eines bestimmten Qualitätsniveaus ist erfüllt, wenn alle die Qualität beeinflussenden Faktoren in der gleichen Güte erfüllt worden sind.

Einflussfaktoren auf die Formteilqualität:

- Formteilkonzept
- kunststoffgerechte Konstruktion des Formteils
- Werkzeugkonzept
- Werkzeugausführung
- Maschinen/Ausrüstung
- Verfahrenstechnik/Prozessführung
- Konstanz der Materialeigenschaften
- Qualifikation/Motivation des Bedienpersonals
- Qualitätssicherung der Fertigung

Es ist also oft nur ungenügend oder nicht möglich, bei nicht hinreichender Berücksichtigung einer der genannten Faktoren die daraus entstehenden Folgen am Formteil mit der Übererfüllung anderer Qualitätskriterien zu kompensieren.

**Zur Erklärung sollen hier zwei Beispiele genannt werden, die in der Praxis häufig vorkommen:**

- Ein Spritzgieß-Formteil, bei dessen Konstruktion gegen die Regel der annähernd gleichmäßigen Wandstärken verstoßen worden ist, wird zu Einfallstellen und Verzug neigen. Dies kann nicht durch die Verwendung einer besonders neuen Spritzgießmaschine kompensiert werden. Die Einhaltung von engen Maßtoleranzen ist hier deutlich erschwert bzw. unmöglich.
- Ein unangemessenes Werkzeugkonzept, das ein zu „weiches“ Werkzeug oder ein unzureichendes Entformungsprinzip beinhaltet, kann nicht durch besonders gut qualifiziertes Personal ausgeglichen werden.

Die hier dargelegten Zusammenhänge bedingen eine intensive Kommunikation zwischen allen Beteiligten, möglichst schon in einer frühen Projektphase. Sowohl kunststoffverarbeitende Firmen als auch Werkzeugbaubetriebe sind in aller Regel zu solchen Projektbesprechungen bereit, wenn diese nicht nur dem billigen Know-how-Transfer dienen sollen.

Hier können noch vor Fertigstellung der Formteilkonstruktion technisch begründete Aspekte der Fertigung und des Werkzeugbaus zum Vorteil aller Beteiligten in das Projekt einfließen.

Die ausschließlich nach monetären Gesichtspunkten entschiedene Auftragsvergabe im Einkauf technischer Produkte erweist sich bei nachträglicher, umfassender Nachkalkulation oft als äußerst unwirtschaftlich. Allerdings sei hier angemerkt, dass diese Art von Nachkalkulation bedauerlicher Weise extrem selten durchgeführt wird.

Erfahrungen nach Durchführung einer solch umfassenden Nachkalkulation am Ende eines Projektes unter ehrlicher Einbeziehung aller entstandenen Kosten zeigen eine signifikante Veränderung des technischen Einkaufsverhaltens mancher Firma.

Es soll hier nachdrücklich betont werden, dass alle ausgeführten Aspekte entscheidend für die Einhaltung der geforderten Maßhaltigkeit sein können.

Formwerkzeuge existieren in den aller meisten Fällen als Unikate. Der funktionelle Ausfall eines Werkzeugs hat somit in der Regel das Fehlen eines Bauteils zur Folge, ohne dieses ein Gerät, eine Maschine oder ein Fahrzeug nicht montiert und ausgeliefert werden kann. Hieraus begründet sich die große Bedeutung von Werkzeugen als Produktionsmittel, welche sich in der Produktionsvorbereitungsphase in einem entsprechend professionell organisierten Projektdurchlauf, während der Produktion in einer hinreichenden Aufmerksamkeit bezüglich der Verfügbarkeit der Werkzeuge widerspiegeln sollte. Planmäßig vorbeugende Werkzeugwartungen nach einem speziellen Pflege- und Wartungsplan sind somit unverzichtbar.

## ■ 1.2 Zeichnungen und Datensätze – Funktionen und Festlegungen

Technische Zeichnungen als Mittel zur Festlegung, Beschreibung und verbindlichen Weitergabe von Bauteilspezifikationen haben sich seit ca. 150 Jahren bewährt.

Signifikant weiterentwickelt haben sich in den letzten dreißig Jahren die Konstruktionstechnologie und die Messtechnik.

Die geometrische Komplexität der konstruierten Bauteile hat sich in den letzten Jahrzehnten deutlich gesteigert. In der Vergangenheit war auf Grund der Möglichkeiten der technischen Darstellung, den Möglichkeiten der Fertigung und nicht zuletzt den Möglichkeiten der Messtechnik die geometrische Komplexität der Bauteile begrenzt.

Nicht zuletzt ist es so, dass sich heute geometrische Details messen lassen, welche auf Zeichnungen kaum Berücksichtigung finden.

Die Herstellung von Bauteilen mit Freiformflächen oder schwer zu überschauenden Geometrien, wie beispielsweise mehrere unter verschiedenen Winkeln ineinander laufende Radien, ist heute für jeden Werkzeugbau kaum aufwändiger als die Fertigung trivialer Regelgeometrien. Der Grund liegt in der Fertigung der konturbildenden Werkzeugbauteile mit CNC-gesteuerten Maschinen. Grundlage der CNC-Programmierung ist das CAD-Modell der Werkzeugkonstruktion, welches direkt aus dem CAD-Modell des Formteils abgeleitet wird.

## ■ 2.3 Wirkzusammenhänge von Maßen (Toleranzanalysen)

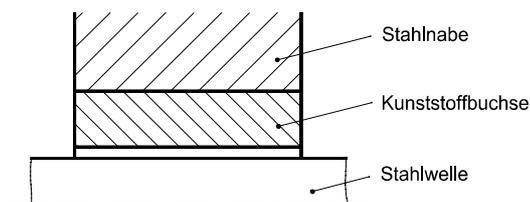
Bezüglich der Wirkzusammenhänge von Maßen und den damit verbundenen Methoden der Toleranzanalyse können verschiedene Kategorien unterschieden werden.

### Unabhängige Maße

Maße, die keine nennenswerten Auswirkungen durch Maßabweichungen auf andere Maße haben. Solche Maße erfordern nur Allgemeintoleranzen.

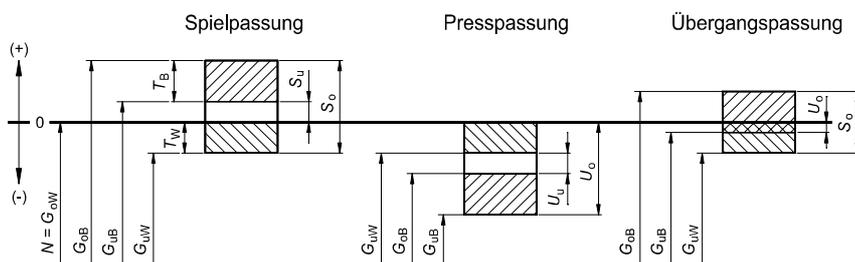
### Passmaße

Passmaße entstehen durch das Zusammenwirken gefügter Einzelteile mit dem Funktionscharakter Spiel oder Übermaß der Passung. Bei mehr als zwei gefügten Einzelteilen spricht man von Mehrfachpassungen (Bild 2.6).



**Bild 2.6** Zweifachpassung (Gleitlager)

Die Passungsfunktionen für die Passungssysteme Einheitswelle und Einheitsbohrung sind im Bild 2.7 und Bild 2.8 dargestellt. Die Tabelle 2.2 erläutert die Passungsmäße.



**Bild 2.7** Passungssystem Einheitswelle (EW)

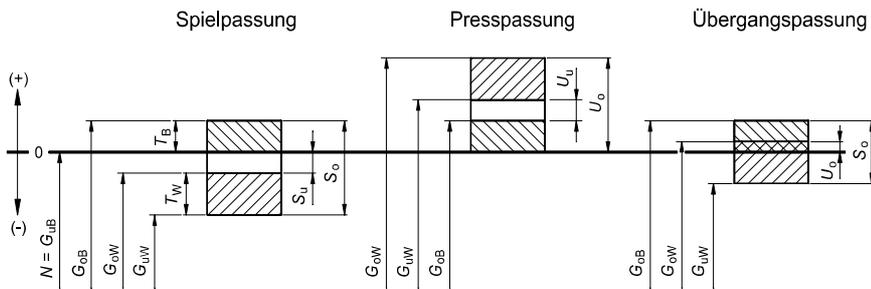


Bild 2.8 Passungssystem Einheitsbohrung (EB)

Tabelle 2.2 Passungsmaße

Begriffe		Kurzzeichen
Grenzmaße	Höchstmaß (Größtmaß)	$G_{oW}, G_{oB}$
	Mindestmaß (Kleinstmaß)	$G_{uW}, G_{uB}$
Grenzsple	Höchstspiel (Größtspiel)	$S_o = G_{oB} - G_{uW}$
	Mindestspiel (Kleinstspiel)	$S_u = G_{uB} - G_{oW}$
Grenzübermaße	Höchstübermaß (Größtübermaß)	$U_o =  G_{uB} - G_{oW} $
	Mindestübermaß (Kleinstübermaß)	$U_u =  G_{oB} - G_{uW} $

Indizierung:  $_w$  Welle  $_B$  Bohrung

Einzelheiten zur Bildung der Toleranzklassen für Wellen- und Bohrungsmaße der Passungssysteme können der Fachliteratur [1] und der DIN EN ISO 286 entnommen werden. Es sei ausdrücklich vermerkt, dass diese Bildungsgesetze unabhängig von der Toleranzgröße sind und daher auch für Passungen der Paarung „Kunststoff mit beliebigen Werkstoffen“ anwendbar sind.

Die Auswahlpassungen nach DIN 7157 sind allerdings für Kunststoff-Formteile nahezu unbrauchbar, wenn man von wenigen Fällen der Spielpassungen bei Präzisionsfertigung absieht. Offensichtlich sind diese Auswahlpassungen für die mechanische Bearbeitung von Metall vorgesehen.

Diese Einschränkung bedeutet aber nicht, dass neue Passungssysteme für Kunststoffwerkstoffe notwendig sind, da die bereits etablierten Systeme nach DIN EN ISO 286 für die Bildung von Passungen mit größeren Maßtoleranzen ausreichen. Außerdem sollten sich einige Konstrukteure an den Gedanken gewöhnen, dass z. B. Spiele von einigen Millimetern auch zu Passungspaarungen gehören können. Diesbezüglich gibt es keine begrenzenden Festlegungen. Für Presspassungen von Kunststoffteilen sind wegen deren geringen Steifigkeiten die möglichen Übermaße u. U. mehr als das Hundertfache größer als bei Metallteilen.

## Maßketten

Aneinanderreihung von funktionsbedingten Einzelmaßen bei Einzelteilen oder Baugruppen und dem davon abhängigen Schlussmaß in einer geschlossenen Maßkette (Linienzug der Kettenglieder).

Die Toleranzanalyse von Maßketten erfolgt im Regelfall durch computergestützte Toleranzkettenrechnung nach unterschiedlichen Methoden. In Tabelle 2.3 sind Kurzcharakteristiken dieser Methoden angegeben.

**Tabelle 2.3** Methoden der Toleranzkettenanalyse

Analysenmethode	Austauschbarkeit bei Montage
Maximum-Minimum-Methode (Worst Case-Methode)	vollständig gesichert
Wahrscheinlichkeitstheoretische Methode (Monte Carlo-Methode)	gesichert mit statistischem Risiko
Kompensationsmethode	abhängig von der Kompensatorfunktion
Gruppensortiermethode	unvollständig

Derzeitig ist die Toleranzkettenrechnung sehr weit verbreitet. Die Festlegung der Toleranzen nach Maximum-Minimum-Methode bzw. der wahrscheinlichkeitstheoretischen Methode, ist auch für Formteilentwickler von nicht formsteifen Kunststoff-Formteilen zur geforderten Routine geworden. Es wird aber dabei nicht immer beachtet, dass für alle Berechnungsmodelle der absolut starre Körper vorausgesetzt wird. Diese Bedingung ist für Kunststoffe (geringer E-Modul) häufig nicht erfüllt. Erheblich erschwerend wirkt sich außerdem der Verzug der Formteile auf die Rechenergebnisse aus. Es kann daher gefolgert werden, dass Toleranzanalysenmodelle mit der Annahme des starren Körpers für Kunststoff-Formteile meist ungeeignet sind. Ähnliche Probleme ergeben sich bei dünnwandigen Blechkonstruktionen (z. B. im Automobilbau). Es sei hier auf diesbezügliche Lösungsversuche hingewiesen [2].

Durch die nicht zu treffenderweise vorausgesetzte Formsteifigkeit der Kunststoff-Formteile entstehen oft sehr kleine Toleranzen, welche, bedingt durch die in der Praxis vorhandene Flexibilität, nicht die Grenzen der Funktionalität beschreiben. Dies steht nicht nur im Widerspruch zum Inhalt der DIN EN ISO 8015 sondern treibt auch die Fertigungskosten für die Formteile völlig ungerechtfertigt in die Höhe.

### Kompensationsmethode

Für Kunststoffe wird der Toleranzausgleich mit der Kompensationsmethode ermöglicht, wobei ein Kettenglied der Maßkette als leicht verformbarer Kompensator genutzt wird. Eventuell kann durch konstruktive Anpassung erreicht werden, dass das Kompensationskettenglied bei der Montage auch manuell verformbar ist. Die Toleranzkompensation durch ein elastisch verformbares Kettenglied wird auch in den Normen DIN 16742 und ISO 20457 empfohlen.

Makromoleküle sind im Vergleich zu niedermolekularen Stoffen (z. B. Wasser) im unvernetzten Zustand (Thermoplaste) extrem lange Fadenmoleküle. Bei angenommener Fadenvergleichsdicke von 1 mm ergeben sich etwa 2 m bis 200 m gestreckte Länge der Moleküle für technisch genutzte Kunststoffe. Für spezielle Biopolymere sind die Moleküle um Größenordnungen länger (Bild 5.4).



**Bild 5.4** Makromolekülausschnitt [19]

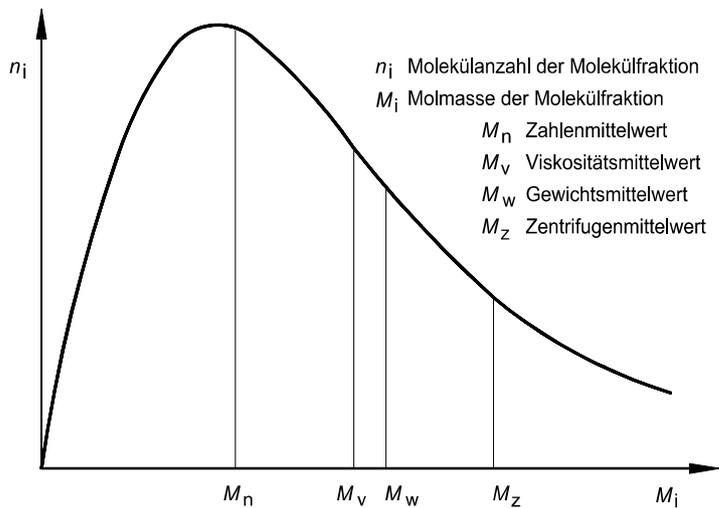
In der Polymerphysik wird als Maß der Molekülgröße die Molmasse angegeben. Um die Relationen verschiedener Stoffgruppen zu zeigen, werden nachstehend die Massen für ein Mol eines Stoffes ( $\approx 6 \cdot 10^{23}$  Moleküle) angegeben:

Niedermolekulare Stoffe	2 g ( $H_2$ ), 18 g ( $H_2O$ ) usw. bis ca. 500 g
Oligomere	über 0,5 bis 10 kg
Polymere	über 10 kg bis 1 t für übliche Thermoplastkunststoffe, über 1 t für Spezial- und Biopolymere.

Bei Duroplasten und Gummi ist eine sinnvolle Angabe von Molmassen wegen der Molekülvernetzung nicht möglich.

Bei den Polymeren handelt es sich immer um ein Gemisch unterschiedlich großer Molekülfraktionen, d. h. um polymolekulare Stoffsysteme. Die Angabe einer Molmasse ist daher immer ein statistischer Mittelwert, dessen Zahlenwert vom Verteilungsspektrum der Einzelmoleküle und der Art der Mittelwertbildung abhängt. In Bild 5.5 sind solche charakteristischen Mittelwerte in ihrer relativen Lage angegeben. Für Eigenschaftskorrelationen wird der Gewichtsmittelwert bevorzugt.

Vielfalt und Streubreite der Molmassen und damit der Moleküllängen haben erheblichen Einfluss auf das Fließverhalten (Rheologie) sowie auf thermische und mechanische Eigenschaften. Es handelt sich hierbei um eine Einflusskategorie, die für niedermolekulare Stoffe (auch Metalle) generell nicht zutrifft.



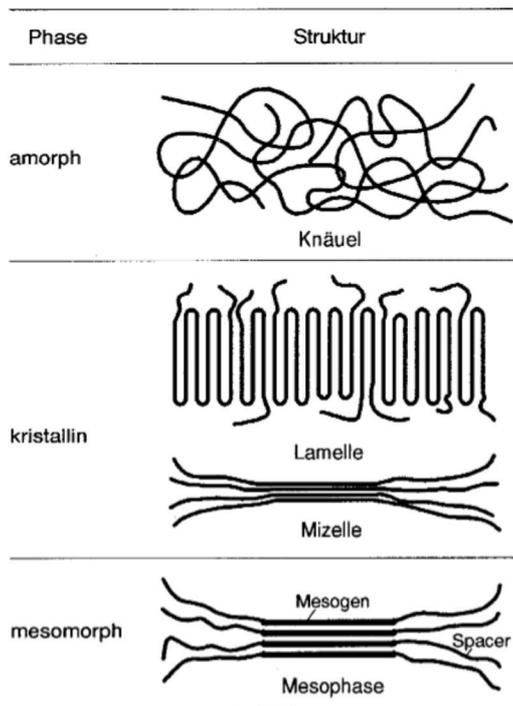
**Bild 5.5** Molmasseverteilung und Molmassemittelwerte von Polymeren

Schwankungen der Molmassen zwischen einzelnen Materialchargen bewirken unterschiedliche Fließfähigkeiten der hochpolymeren Materialien. Da diese zu Schwankungen in der Verarbeitungsschwindigkeit führen, sind hierdurch bedingte Maßschwankungen der Formteile die direkte Folge. Zu einem sehr großen Anteil wird in der Kunststoffverarbeitenden Industrie hinsichtlich der Materialqualität sogenannte Industrieware verarbeitet. Die hier von den Materialherstellern- und händlern zugesagten Schwankungen der Molmassen sind erstaunlich groß. Dies begrenzt die Möglichkeit der Einhaltung enger Toleranzen drastisch.

Ab einer bestimmten Kleinheit der Toleranzen ist die Verarbeitung von Materialqualitäten mit eingeschränkten Eigenschaftsschwankungen unerlässlich. Allerdings kosten diese Materialtypen ca. das drei- bis sechsfache des Preises der „normalen“ Industrieware.

### 5.2.2 Morphologische Strukturen (Konformation und Aggregation der Makromoleküle)

Die Ordnungsstrukturen (Morphologie) der Polymere beeinflussen erheblich die maßrelevanten Eigenschaften. In einer vereinfachten Übersicht sollen daher entsprechende Aspekte erklärt werden. In der Größenordnung unterhalb der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes lassen sich die in Bild 5.6 schematisch dargestellten molekularen Ordnungsstrukturen der Polymerphasen unterscheiden.



**Bild 5.6** Molekulare Ordnungsstrukturen von Polymerphasen

### Amorphe Phase

Sind die Makromoleküle hinreichend beweglich, aber durch unregelmäßige und sperrige Gestalt nicht optimal für eine enge „Molekülpackung“ geeignet, wird bei entsprechend tiefer Temperatur (Festzustand) durch maximale Unordnung (Entropie) der energieärmste Ordnungszustand „eingefroren“, d. h., die Moleküle liegen als amorphe Knäuel- oder Wattebauschstruktur vor. Amorphe Polymere ohne Zusatzstoffe sind immer transparent, da alle Phasenbestandteile kleiner als die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes sind.

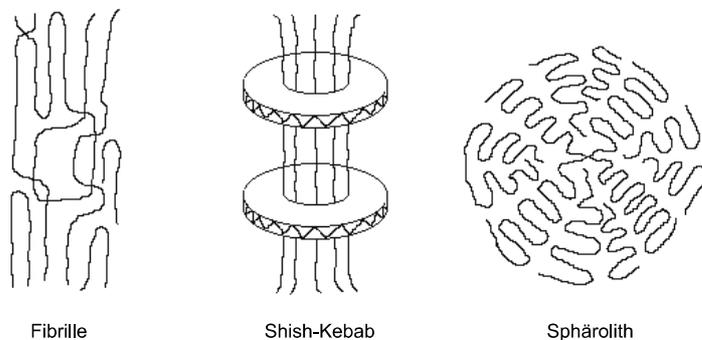
### Kristalline Phase

Sind die Makromoleküle sehr gleichmäßig aufgebaut und unterstützen die zwischenmolekularen Kräfte (ZMK) eine enge Annäherung der Moleküle, so bilden sich Kristallite, da Ordnungsvergrößerung partiell einen größeren Energiegewinn als Entropievergrößerung ergibt. Je nach Flexibilität der Moleküle erfolgt die Kristallitbildung durch Faltung (Lamellen) oder Parallellagerung (Mizellen). Die Kristallitelementarzellen (Gitterstrukturen) können sich bei bestimmten Temperaturen umlagern und damit erhebliche Maßänderungen bewirken.

So findet z. B. für PTFE bei 19 °C eine Gitterumwandlung statt, die eine Volumenerhöhung von ca. 1 % ergibt. Würde man aus PTFE-Halbzeug besonders maßhaltige Werkstücke spanend herstellen, so wäre dieser Einfluss, z. B. bei der Maßprüfung, von Bedeutung. Beim Abkühlen von PB-Spritzgießteilen tritt bei ca. 20 °C nach wenigen Tagen eine Umwandlung der Kristallmodifikation mit bis zu 2 % Nachschwindung auf. Solche Effekte müssen unbedingt bei der Festlegung der Abnahmebedingungen der Fertigung (ABF) berücksichtigt werden (Kapitel 4 „Maßbezugsebenen für die Anwendung und Fertigung von Formteilen“).

Die Kristallbildung wird, wie auch bei niedermolekularen Stoffen, durch die Teilschritte Keimbildung und Kristallwachstum bestimmt. Die Vielfalt der Molekülkonformationen sowie die Tendenz der Entropievergrößerung (Molekülknäuelung) lassen eine vollständige Kristallisation bei der Verarbeitung der Kunststoffe nicht zu. Solche Polymere sind daher immer nur teilkristallin. Ihre morphologische Struktur ist durch ein Gemenge von amorphen und kristallinen Phasen gekennzeichnet, deren Grenzen auf molekularer Ebene nicht eindeutig bestimmbar sind. Gleiche Makromoleküle können sowohl der amorphen als auch der kristallinen Phase angehören.

Im Regelfall aggregieren die lamellaren bzw. mizellaren Kristallite zu kristallinen Überstrukturen, deren häufigste Vertreter die Sphärolithe sind (Bild 5.7).



**Bild 5.7** Schemata kristalliner Überstrukturen

Der kristalline Anteil wird durch den Kristallisationsgrad angegeben, der bei besonders leicht kristallisierenden Polymeren (z. B. PE-HD, PP, POM) 60 bis 80 % betragen kann. Für die Mehrzahl der teilkristallinen Kunststoffe liegen die Kristallinitätsgrade zwischen 20 bis 55 %. Die Dichte der kristallinen Phase ist etwa 10 bis 20 % größer als die der amorphen Phase. Da die Abmessungen der kristallinen Überstrukturen (Bild 5.7) immer größer als die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes sind, erscheinen solche Kunststoffe ohne Zusatzstoffe visuell je nach Kristallisationsgrad als transluzente bis opake Körper.

- Partielle Intensivkühlung mit Stickstoff
- Partielle Intensivkühlung mit geschlossenem Kühlmittelkreis (Stemke-Kühlung)

Es bedarf keiner besonderen Betonung, dass diese Ausstattungsmerkmale der Werkzeuge zwischen Projektpartnern abgestimmt werden müssen, die Werkzeugkosten erhöhen und somit im Werkzeugkonzept fixiert werden sollten.

Besonders erwähnt werden soll hier die Temperierung von bewegten, formbildenden Werkzeugelementen wie Schiebern und Schrägauswerfern, die eine bestimmte Größe überschreiten. Die Menge des Wärmeeintrags in diese Werkzeugbauteile ist abhängig von der Größe der konturbildenden Flächen.

Da sich diese Werkzeugbauteile bewegen müssen, werden sie mit Spielpassungen in die feststehenden Konturteile des Werkzeugs eingepasst. Allein dadurch ist die Wärmeabfuhr behindert. Die nicht ausgeglichene Wärmebilanz der bewegten Werkzeugbauteile führt oft zu einer sich einstellenden Temperatur, welche deutlich über der restlichen Konturteile liegt. Verzug und damit Maßhaltigkeitsprobleme, Oberflächenfehler und natürlich eine Verlängerung der Zykluszeit sind die unvermeidlichen Folgen. Hinzu kommt, dass durch die temperaturbedingte Wärmedehnung mechanische Probleme der Werkzeugkinematik bzw. Dichtprobleme häufig die Folge sind.

### 6.5.3 Rheologische Ausbalancierung der Werkzeuge

Wie schon im Kapitel 5 „Kunststoffeigenschaften und deren Einfluss auf die Formteile unter Berücksichtigung der Maßhaltigkeit“ ausführlich dargestellt, ist die Füllung des Formhohlraums im Spritzgießwerkzeug ein äußerst komplexer rheologischer und thermodynamischer Prozess mit einem enormen Einfluss auf die Orientierung der Makromoleküle und faseriger Füllstoffe.

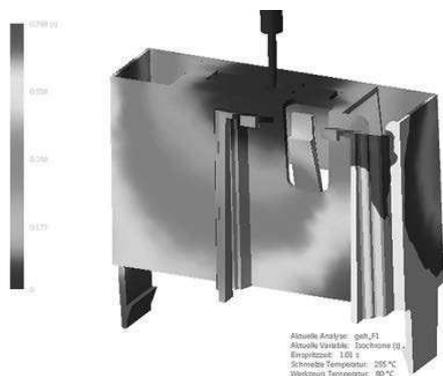
Dabei fließt die Kunststoffschmelze von dem Anschnitt bzw. von den Anschnitten beginnend mit einer Quellströmung, die von einer Dehnströmung überlagert wird, bis zum Ende des Fließweges. Hierbei werden die Makromoleküle in unterschiedlich hohem Maß daran gehindert, den energieärmsten Zustand anzunehmen.

Die Werkzeugfüllung unterscheidet sich in zwei Phasen, die volumetrische Füllung mit Spritzdruck und die Nachdruckphase. Mit dem Nachdruck wird ein Teil des durch die Schwindung bedingten Volumenschwunds des Formteils ausgeglichen. Der Nachdruck ist immer signifikant niedriger als der Spritzdruck.

Sobald der Schmelzestrom das Ende des Fließweges erreicht, muss die Maschine von Spritzdruck auf Nachdruck umschalten. Prozesstechnisch gibt es hierfür mehrere Möglichkeiten, was allerdings hier nicht weiter diskutiert werden soll.

Geometrisch ergibt sich aus den meisten Formteilen, dass sich bei nicht optimaler Anschnittlage der Schmelzestrom so aufteilt, dass dieser zu unterschiedlichen Zeitpunkten das jeweilige Fließwende erreicht.

Bild 6.6 zeigt ein Formteil, das sich nach einer Füllzeit von 0,75 Sekunden füllen lässt. Die Fließfront am linken Rasthaken hat zu diesem Zeitpunkt das Fließwegende erreicht. Aus Sicht dieses Formteilbereiches müsste somit von Spritzdruck auf Nachdruck umgeschaltet werden. Der helle Bereich auf der rechten Seite des Formteils muss aber noch gefüllt werden. Dazu sind noch 0,25 Sekunden nötig. Während dieser Zeit sind ca. 1300 bar Spritzdruck nötig, um diesen Bereich vollständig zu füllen. Erst dann kann die Maschine auf Nachdruck umschalten.



**Bild 6.5** Beispiel für ungleichmäßige Füllung eines Formteils

Der linke Formteilbereich wird mit dem Spitzdruck überladen in einer Prozessphase, in der lediglich der Nachdruck wirken sollte. Die für den Kunststofftechniker wenig überraschende Folge ist, dass der linke Rasthaken bei gleichen Werkzeugmaßen größere Maße haben wird als der rechte. Weitere Effekte sind die vermehrte Neigung zur Gratbildung und Spannungen, die durch den übertrieben hohen Druck in der Abkühlphase in das Formteil regelrecht hineingedrückt werden. Der Zusammenhang für die Maßhaltigkeit der Bauteile muss hier sicher nicht weiter betont werden.

### Mehrfachwerkzeuge

Mehrfachwerkzeuge, insbesondere die für Formteile mit höheren Genauigkeitsanforderungen, sollten rheologisch ausbalanciert sein. Das heißt, auch hier ist zu sichern, dass die Schmelze zur gleichen Zeit das Fließwegende erreicht.

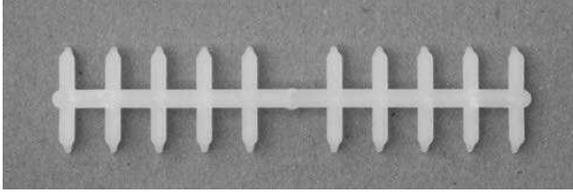
Da die Kavitäten gleich sind, betrifft die Balancierung hier das Angussystem, unabhängig davon, ob es sich um einen Kalt- oder Heißkanalanguss handelt.

*Bekannt sind hierzu zwei Vorgehensweisen, das rheologische und das mechanische Ausbalancieren:*

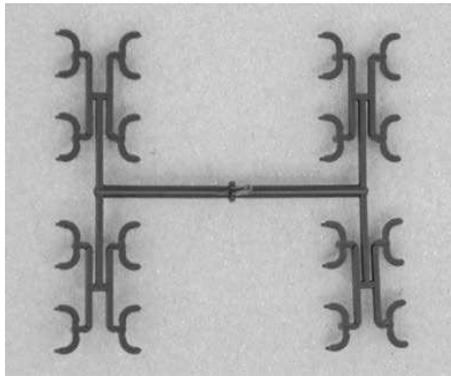
- Beim *rheologischen Ausbalancieren* werden die Kanalquerschnitte so dimensioniert, dass die einzelnen Formnester gleichmäßig mit Schmelze versorgt werden. Zu beachten ist hier, dass dies nur für ein bestimmtes Material und bestimmte Prozessparameter ausgelegt werden kann. Die Dimensionierung erfolgt heute in

üblicher Weise mit den in Kapitel 7 „Anwendungsmöglichkeiten der Konstruktions- und Simulationstechniken“ beschriebenen Simulationsprogrammen oder, technisch weniger elegant, durch Versuch und Irrtum, eventuell durch Verwendung von einstellbaren Fließhemmnissen.

- Die *mechanische Ausbalancierung* erfolgt über gleiche Fließweglängen im Angussystem für alle Formnester. Diese ist unabhängig von Material- und Prozessparameterschwankungen.



**Bild 6.6** Beispiel für einen nicht ausbalancierten Kaltkanalanguss



**Bild 6.7** Beispiel für einen mechanisch ausbalancierten Kaltkanalanguss

Die Überprüfung der gleichmäßigen Füllung ist auf der Spritzgießmaschine durch mehrere bewusst eingeleitete Teilfüllungen mit unterschiedlichen Füllmengen einfach möglich.

Sogenannte Familienwerkzeuge, also Werkzeuge, in der sich die Konturen für unterschiedliche Formteile befinden, sind für Bauteile mit hohen Maßhaltigkeitsforderungen ungeeignet.

## ■ 6.6 Relevante Kostenanteile der Werkzeugkosten

Die durch das Formwerkzeug über die Lebenszeit des Werkzeugs beeinflussten Kosten setzen sich aus einer Vielzahl von einzelnen Kostenanteilen zusammen.

- Werkzeugpreis laut Angebot
- Kosten der Betreuung der Werkzeugerstellung- und Freigabe (Konstruktionsbesprechung, Terminkontrolle, Bemusterungen, Teilevermessungskosten)
- Fertigungskosten durch die Länge der Zykluszeit
- Kosten für planmäßige Pflege, Wartungen und Kleinreparaturen (Werkzeugsäuberungen, Austausch von Auswerferstiften, Säubern von Werkzeugentlüftungen und Temperierbohrung)
- Kosten für die Reparatur während der Produktion plötzlich ausgefallener Werkzeugbauteile (Ersatz abgebrochener Schieber- oder Kontureinsätze)
- Kosten für Generalüberholungen (Ersatz von verschlissenen konturbildenden Bauteilen, Führungen und Angussystemen wie Heißkanälen)

Eine besondere Bedeutung kommt den Kosten zu, die durch plötzlich ausfallende Werkzeuge verursacht werden. Diese generieren oft Folgekosten, welche die Reparaturkosten zum Teil erheblich übersteigen. Lieferunfähigkeiten mit Konsequenzen bis hin zu Produktionsunterbrechungen erzeugen Kosten vom Management der Schadenbegrenzung über die eigentliche Reparatur bis zu den Mehrkosten durch die Mehrarbeit zur Aufholung der ausgefallenen Produktion. Auch dies sind projektbezogene Kosten, welche den entsprechenden Kostenstellen mit dem Ziel der Berücksichtigung bei künftigen Entscheidungen zuzuordnen sind.

Aus den vielen Einflüssen auf den Herstellungspreis eines Werkzeugs soll hier beispielhaft der Zusammenhang zwischen dem Grad der Aufsplittung der konturbildenden Bauteile herausgegriffen werden. In vielen Fällen ist es am einfachsten, schnellsten und am billigsten, wenn die Werkzeugkontur „aus dem Ganzen“, also weitgehend aus einem Stück gefertigt wird. Bei besonders billigen Werkzeugen wird oft unter diesem Gesichtspunkt sogar die Kontur von Mehrfachwerkzeugen direkt in die Formplatten gearbeitet. Neben verfahrenstechnischen Nachteilen, wie der ungenügenden Konturentlüftung, ist die Korrektur einzelner Maße extrem erschwert. Die zügigen Reparaturmöglichkeiten im Fall des Abbrechens eines Teils der Kontur sind praktisch nicht vorhanden. Selbstverständlich erzeugt die Herstellung eines jeden Einsatzes, unabhängig von seiner Größe, Kosten. In Firmen, die Stecker in sehr großen Stückzahlen fertigen, wird dies so weit getrieben, dass bruchgefährdete schlanke, hohe Einsätze systematisch als Ersatzteile vorgehalten und im Falle eines Bruchs in sehr kurzer Zeit gewechselt werden.

## ■ 8.1 Konzeptionelle Grundlagen und Anwendungsbereich der DIN 16742/ISO 20457

### 8.1.1 Konzeptionelle Grundlagen

Wesentliche Schwachstellen der DIN 16901 wurden bereits in Abschnitt 1.5 „Stellungnahme zur DIN 16901“ benannt. Ausgehend von dieser Einschätzung in Verbindung mit aktuellen Entwicklungstendenzen auf dem Gebiet der geometrischen Tolerierung (z. B. GPS-Normung) wurden für die Neufassung der DIN 16742 die nachstehenden konzeptionellen Grundlagen berücksichtigt.

Praktisch gab es für die gesamte Branche der kunststoffverarbeitenden Industrie keine Normungsgrundlage bezüglich der erreichbaren Maßhaltigkeit. Da Kunststoff-Formteile nicht nur aber insbesondere in der Automobilindustrie und der Elektrotechnik, sondern in sehr vielen weiteren Branchen unverzichtbar sind, war dieser Zustand Quelle und Ursache einer sehr unbefriedigenden Situation zum Nachteil aller Beteiligten.

Um diese Situation zu entschärfen und das Entstehen einer neuen Norm zu befördern wurde von den Autoren dieses Buches in enger Abstimmung mit interessierten Mitgliedern des Branchenverbandes Tec-Part unter dem Dach des GKV (Gesamtverband des kunststoffverarbeitenden Industrie) die sogenannte Tec-Part-Broschüre 2008 als Branchenstandard erarbeitet und veröffentlicht. Nach der Neugründung des Arbeitsausschuss „Toleranzen für Kunststoff-Formteile“ im FNK des DIN-Instituts 2011 hat sich dieser den Auftrag der Erstellung einer DIN-Norm und der Überführung dieser in eine ISO-Norm, möglichst einer DIN EN ISO-Norm, gegeben. Im Oktober 2013 ist dann die DIN 16742 herausgegeben worden. Im September 2018 wurde die ISO 20457 veröffentlicht, welche auf der Grundlage der DIN erstellt worden ist.

Im ISO sind ca. 150 Länder organisiert. Zur Mitarbeit in der zuständigen Workgroup ISO/TC 61/WG 3 haben sich 29 Länder gemeldet. Es liegt in der Natur der Sache, dass hier Kompromisse zu schließen sind.

Momentan existieren beide Normen nebeneinander, was unproblematisch ist, da Normenanwendung immer freiwillig ist. Da bezüglich der Toleranzzuordnung zwischen DIN 16742 und ISO 20457 Unterschiede bestehen, werden in diesem Kapitel die aktuellen Werte der ISO 20457 angegeben.

Nach der für Ende 2019 geplanten Herausgabe der DIN ISO 20457 wird die DIN 16742 zurückgezogen werden.

DIN 16742 und die IOS 20457 unterscheiden eindeutig zwischen *funktional (konstruktiv) erforderlichen Toleranzen (Funktionstoleranzen)* und *fertigungstechnisch möglichen Toleranzen (Fertigungstoleranzen)*. Inhalt beider Normen sind ausschließlich Fertigungstoleranzen, die konkret durch Verarbeitungsverfahren, Formstoffe und Fertigungsaufwand bestimmt sind. In Abschnitt 2.4 „Toleranzfestlegung“ wurden prinzipielle Ausführungen zur Festlegung der Funktionstoleranzen und deren Vergleich mit den Fertigungstoleranzen gemacht.

Die Quantifizierung der Funktionstoleranzen und der daraus abgeleiteten Passungen erfolgt zum Beispiel mit dem international eingeführten Toleranz- und Passungssystem nach DIN EN ISO 286-1; -2. Dabei ist ggf. der Einfluss der Formteilenwendungs- und Montagebedingungen zu berücksichtigen, wie in Kapitel 4 „Maßbezugsebenen für die Anwendung und Fertigung von Formteilen“ ausführlich begründet wurde und auch im Anhang A zur DIN 16742/ISO 20457 dargestellt ist.

Einleitend zu allen Vorgängernormen von DIN 16742, so auch in der DIN 16901 (Ausgaben: 1973; 1982), steht unisono folgender Satz:



„Die Toleranzen für Kunststoff-Formteile können nicht den ISO-Grundtoleranzen entnommen werden, da ihre Zuordnung zu den Nennmaßen anderen Gesetzmäßigkeiten unterliegt“.

Damit wurden die Toleranzen von den ISO-Grundtoleranzen abgekoppelt. Intensiv durchgeführte Recherchen der Autoren haben keinen Beweis hervorgebracht, dass es nicht möglich sein soll, die Toleranzen für Kunststoff-Formteile auf der Basis der ISO-Grundtoleranzen festzulegen. Mit Blick auf die angestrebte ISO-Norm erlangt dieser Fakt eine besondere Bedeutung.

Die den Autoren einzige bekannte Großzahlerfassung von Maßuntersuchungen an Kunststoff-Formteilen über einen längeren Zeitraum in vielen Verarbeitungsbetrieben mit unterschiedlichsten Formteilsortimenten stammt aus der DDR [18]. Auf dieser Grundlage wurden nach den Grundtoleranzgraden (IT9 bis IT17) der DIN EN ISO 286 sogenannte  $R_F$ -Klassen mit identischer Zahlenzuordnung für fertigungsbedingte Maßungenaugigkeiten in einer Formteiltoleranznorm (TGL 22240) festgelegt. Für Thermoplaste wurde eine Nennmaßabstufung der formmasseabhängigen  $R_F$ -Klassen bis 500 mm und eine Klasse höher (ungenauer) bis 1000 mm angesetzt. Entsprechende Duroplastklassen waren verfahrensabhängig teilweise auf kleinere Nennmaßbereiche begrenzt.