



# TecPart

# TecPart

Verband Technische Kunststoff-Produkte e.V.

Städelstraße 10 · 60596 Frankfurt am Main  
Telefon 069 27105-35 · Telefax 069 239836  
[www.tecpart.de](http://www.tecpart.de) · [info@tecpart.de](mailto:info@tecpart.de)



Trägerverband des GKV –  
Gesamtverband Kunststoffverarbeitende  
Industrie e.V.

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

## Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

© TecPart, 2009

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

Erarbeitung: Prof. Dipl.-Ing. Bernd-Rüdiger Meyer  
Dipl.-Ing. Dirk Falke

Verantwortlich: Dipl.-Ing. G. Wilhelm Crößmann  
Verband Technische Kunststoff-Produkte e.V.  
Städelstraße 10  
60596 Frankfurt/Main  
Telefon: 069 27105-35  
Telefax: 069 239836  
Mail: [info@tecpart.de](mailto:info@tecpart.de)  
[www.tecpart.de](http://www.tecpart.de)

# Formteilentwicklung und Werkzeugbau

## Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

### Vorwort

Mit Blick auf die Kostenstruktur in Mitteleuropa sollte das Ziel aller Beteiligten sein, bei der Wahrung hoher und sehr hoher Qualitätsansprüche möglichst geringe Kosten zu erzeugen.

Dies erfordert die Konzentration auf das Wesentliche.

Entscheidend für den Gesamterfolg eines Projektes sind ausschließlich die ordentlich kalkulierten Stückkosten des Formteils oder der Formteile und die gesicherte stabile Produktion.

Dort wo Präzision erforderlich ist, sollen Bedingungen geschaffen werden, um diese zuverlässig zu erzeugen und daraus Vorteile am globalisierten Markt zu erzielen.

Geforderte ungerechtfertigte Genauigkeit, gern auch Angsttolleranzen genannt, kosten viel Zeit und Geld von allen Beteiligten und damit Chancen am internationalen Markt.

Der hoch entwickelte Werkstoff Kunststoff mit all seinen auf spezielle Anwendungen getrimmten Eigenschaften und die ebenfalls hoch entwickelte Verarbeitungstechnologie bedingen werkstoff-, technologie- und werkzeuggerecht konstruierte Bauteile.

Nur so können zum einen die Vorteile des Materials ausgenutzt und die heute erforderlichen Anforderungen an Qualität, Lieferbereitschaft und Preis erfüllt werden.

Mit dilettantisch entwickelten Bauteilen sind diese Ziele ganz sicher nicht zu erreichen.

Typisch für die Kunststoffbranche sind Auftraggeber ohne kunststofftechnischen Hintergrund, der sich an einen Kunststoffverarbeiter wendet. Dieser wiederum bestellt oft bei einem Werkzeugbauer das oder die notwendigen Werkzeuge.

Damit ist das Spannungsfeld beschrieben, welches durch klare Absprachen und fachlich fundierte Festlegungen allerdings gut beherrschbar ist.

Dieses Dreiecksverhältnis zwischen Teilebesteller, Teilehersteller und Werkzeugbauer besteht unabhängig von gesellschaftlichen oder juristischen Verhältnissen der Akteure zueinander.

Im einfachsten Fall sind es drei unabhängige Firmen, welche in einer typischen Kunden- Lieferantenbeziehung stehen.

Es ist genauso möglich, dass die Firma die die Kunststoffteile für ihre Endprodukte benötigt, diese auch produziert und die Werkzeuge im eigenen Werkzeugbau herstellen lässt oder aber Werkzeuge extern einkauft.

Praxis ist auch ein Teilebesteller der die Bauteile bei einem Kunststoffverarbeiter mit angeschlossenen Werkzeugbau bestellt.

Die möglichst im Vorfeld zu klärenden Randbedingungen sind immer die gleichen.

Die Praxis zeigt, dass im Bereich der Formteilentwicklung, der Konstruktion und Werkzeugbeschaffung oftmals Spezifikationen nicht vorhanden oder nicht eindeutig sind, bzw. Unsicherheiten in der Zusammenarbeit auftreten können, die zu Missverständnissen und damit zu Rechtsstreitigkeiten führen können.

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

Noch häufiger sollen Bauteile aus Kunststoff hergestellt werden, deren Gestaltung gegen grundsätzliche Regeln der Konstruktion von Kunststoffformteilen verstoßen. In der Folge wird dann erstaunlich oft ein immenser Aufwand getrieben, um die geforderte Qualität zu erfüllen und die nötige Prozessstabilität nachzuweisen.

Schussendlich gelingt beides erst nachdem das Bauteil überarbeitet worden ist. Es werden also am Ende des Entwicklungsprozesses erst die Grundvoraussetzungen geschaffen. Dies kostet viel Zeit und Geld.

Diese Broschüre soll einen Beitrag dazu leisten, um Missverständnisse zu vermeiden und den „Sollzustand“ zeitgemäß zu dokumentieren.

Dipl.-Ing. Dirk Falke

Prof. Dipl.-Ing. Bernd-Rüdiger Meyer

Warum beschäftigt sich TecPart als Wirtschaftsverband mit Grundsätzen zur Konzeption und Tolerierung von Formteilen?

Probleme bei der Konzeption und Tolerierung sind ein tägliches Problem in der Zusammenarbeit zwischen dem Kunststoffverarbeiter als Entwicklungspartner, dem Kunden und dem Werkzeugbau, der oftmals Teil des verarbeitenden Unternehmens ist. Zu negativen Ergebnissen und Streitigkeiten zwischen den Beteiligten wird häufig der Verband um Unterstützung und Rat gebeten. Hinzu kommt, dass die Normung der Entwicklung auf diesem Fachgebiet in den letzten Jahrzehnten nicht gefolgt ist.

Wir sehen die Sicherung der hohen Produktqualität und den hohen technische Standard unserer Branche als zukunftsichernde Maßnahme an. Kosteneffizienz in Produkt-, Werkzeugentwicklung und im Produktionsprozess bedingt aber auch, dass Kunden überzogene Forderungen vermeiden, auf Angsttoleranzen verzichten und bereits zu Beginn der Produktentwicklung eine gemeinsame Sprache gesprochen wird.

Die vorliegende Broschüre ist ein erster Ansatz zu einheitlichen Tolerierungsgrundsätzen in der Branche zu kommen. Für eine nachfolgende Revision sind Kommentare und Vorschläge an TecPart e.V. erwünscht.

So sollte auch Ziel sein, den zunehmend bedeutender werdenden Bereich des Mikro-Spritzgießens detaillierter zu berücksichtigen.

Erst wenn in der Branche der Kunststoffverarbeitung Konsens zu dem Konzept der Tolerierung erreicht ist, soll eine normative Umsetzung als Technische Regel beim Normenausschuss Kunststoffe im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. initiiert werden.

Dipl.-Ing. G. Wilhelm Crößmann

TecPart Verband Technische Kunststoff-Produkte e.V.

### Inhalt

	<b>Vorwort</b>	3
<b>1</b>	<b>Allgemeine Grundsätze und Begriffsbestimmungen</b>	8
1.1	Allgemeine Grundsätze	8
1.1.1	Entwicklungsverantwortung	8
1.1.2	Formteilentwicklung	8
1.1.3	CAD-Datensatz	8
1.1.4	Änderungen	9
1.1.5	Werkzeugspezifikation	9
1.1.6	Entformungsschrägen	9
1.2	Begriffsbestimmungen	10
1.2.1	Kunststoffformteil	10
1.2.2	Werkzeugeingruppierung	10
1.2.2.1	Vorserienwerkzeuge	10
1.2.2.2	Werkzeuge für geringe Stückzahlen	11
1.2.2.3	Werkzeuge für mittlere bis hohe Stückzahlen	11
1.2.2.4	Werkzeuge für höchste Stückzahlen mit höchstem Anspruch	11
1.3	Entwicklungsgrundsätze	11
1.3.1	Tolerierung von Kunststoffteilen	12
1.3.2	Die Festlegung der Schwindung	12
1.3.3	Verzug von Kunststoffteilen	13
1.3.4	Maßabweichung oder Verzug?	13
1.3.5	Toleranzfeldlagen	13
1.3.6	Asymmetrische Toleranzen	14
1.3.7	Entformungsschrägen an Kunststoffformteilen	14
1.3.8	Maßvorhaltungen	15
1.4	Beschaffung der Werkzeuge	15
1.4.1	Grundlagen der Werkzeugbeschaffung	15

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

1.4.2	Werkzeuge sind Unikate!	16
1.4.3	Werkzeugkonzeption und Werkzeugkonstruktion	17
<b>2</b>	<b>Realisierbarkeit und Dokumentation der Formteilmaßhaltigkeit</b>	<b>18</b>
2.1	Geometrische Produktspezifikation (GPS) und Tolerierungsgrundsätze	18
2.1.1	Sachliche und normative Grundlagen	18
2.1.1.1	Tolerierungsgrundsätze	18
2.1.1.2	Geometrische Produktspezifikation (GPS)	19
2.1.1.3	Unabhängigkeitsprinzip	20
2.1.1.4	Hüllbedingung	20
2.1.2	Entformungsschrägen und deren Bemaßung	21
2.1.2.1	Grundlagen	21
2.1.2.2	Bemaßung von zwei Konturbegrenzungen	22
2.1.2.3	Punktbezogene Bemaßung	23
2.1.3	Maßtoleranzfelder für Formteilmfertigungszeichnungen	24
2.1.3.1	Toleranzfeldlagen	24
2.1.3.2	Indirekte Tolerierung durch Allgmeintoleranzen	24
2.1.3.3	Direkte Tolerierung durch Abmaßangabe am Nennmaß	24
2.1.3.4	Besonderheiten der Form-, Lage- und Winkelabweichungen	25
2.1.3.5	Formteilerflächenqualität	25
2.2	Maßbezugsebenen und Haupteinflussfaktoren auf die Formteilmaßhaltigkeit	26
2.2.1	Maßbezugsebenen	26
2.2.2	Abnahme- und Anwendungsbedingungen	28
2.2.2.1	Abnahmebedingungen der Werkzeugfertigung (ABW)	28
2.2.2.2	Abnahmebedingungen der Teilefertigung (ABF)	28
2.2.2.3	Anwendungsbedingungen (AWB)	29
2.2.3	Ursachen und Einflussfaktoren für Maß-, Gestalt- und Lageabweichungen	30
2.2.3.1	Maßabweichungen	30
2.2.3.2	Form-, Lage- und Winkelabweichungen	33
2.3.	Verarbeitungsschwindung und Schwindungsanisotropie	33

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

2.3.1	Grundlagen und Begriffsdefinitionen zur Verarbeitungsschwindung und Schwindungsanisotropie	34
2.3.2	Ursachen und Einflussfaktoren auf die Verarbeitungsschwindung nichtporöser Kunststoffe	35
2.3.3	Rechenwerte der Verarbeitungsschwindung und Schwindungsstreuung	36
2.3.4	Ursachen und Einflussfaktoren auf Schwindungsanisotropie und Formteilverzug	36
<b>3</b>	<b>Längenmaßtolerierung von Kunststoff-Formteilen (Normvorschlag)</b>	<b>39</b>
3.1	Konzeption	39
3.2	Maßgebende Tolerierungsgrundsätze	40
3.3	Geltungsbereich	41
3.3.1	Verfahrens- und Formstoffgruppenzuordnung	41
3.3.2	Formstofftypenzuordnung	41
3.4	Toleranzgruppen und Grundtoleranzgrade	42
3.5	Verfahren zur Einstufung der Genauigkeitsgrade von Maßtoleranznormen	44
3.5.1	Vergleich der Maßtoleranznormen	44
3.5.2	Quantifizierung der Einflusskriterien durch Punktbewertung (P <sub>1</sub> bis P <sub>4</sub> )	44
3.5.3	Fertigungsaufwandseinstufung (P <sub>5</sub> )	45
3.6	Demonstrationsbeispiele	47
3.7	Maßtoleranzrichtwerte für die spanende Nachbearbeitung von Formteilen	49
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>50</b>
	<b>Normenverzeichnis</b>	<b>50</b>

# Formteilentwicklung und Werkzeugbau

## Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

### 1 Allgemeine Grundsätze und Begriffsbestimmungen

#### 1.1 Allgemeine Grundsätze

Nachfolgende Regeln sind von den Beteiligten in der Lieferkette zu beachten

##### 1.1.1 Entwicklungsverantwortung

Dem juristischen Grundsatz unseres Rechtssystems folgend, wonach Entscheidung und Verantwortung untrennbar verbunden sind, liegt die Entwicklungsverantwortung bei dem Entwickler der Bauteile.

Demnach ist es unzulässig einem Lieferanten, der aus technisch zwingenden Gründen am Bauteil einige eher untergeordnete geometrische Veränderungen, wie zum Beispiel das Anbringen von Entformungsschrägen vornimmt, den überwiegenden Anteil der Entwicklungsverantwortung aufzuerlegen. Der Anteil der Entwicklungsverantwortung muss im Wesentlichen mit dem wirklich geleisteten und beauftragten Entwicklungsanteil übereinstimmen. Andernfalls riskiert der Auftraggeber in den Bereich der Rechtswidrigkeit zu geraten.

##### 1.1.2 Formteilentwicklung

Für den Fall, dass kein Auftrag für die Formteilentwicklung vergeben wird, obliegt die Verantwortung für die Formteilbeschreibung (Zeichnung, 3D-Datensatz, Material und zusätzliche Anforderungen an das Formteil) grundsätzlich beim Werkzeug- bzw. Formteilbesteller.

Es ist nicht die Aufgabe des Werkzeugbauers, ein nicht material- und verfahrensgerechtes Bauteil in derart zu ändern, dass das Teil diesen Anforderungen genügt. Also beispielsweise ein nicht entformbares Bauteil so zu ändern, dass es mit einem vernünftigen technischen Aufwand entformbar ist.

Es wird allerdings dringend empfohlen den Auftraggeber schriftlich von dem ungenügend auskonstruierten Zustand des Bauteiles zu informieren.

Juristen sprechen hier von der Informations- und Beratungspflicht der Fachfirma.

Der Teilebesteller sollte diese Chance erkennen und nutzen, da zu diesem Zeitpunkt mit relativ geringem Aufwand erhebliche Werkzeugreparatur-, Fertigungs- und Qualitätssicherungskosten in der Zukunft vermieden werden können.

##### 1.1.3 CAD-Datensatz

Der Werkzeugbesteller hat dem Werkzeugbauer die (neusten) CAD-Datensätze zuzusenden, ersatzweise aber mindestens dem Werkzeugbauer eine Information zuzuleiten, dass ein (neuer) Datensatz zur Abholung bereit liegt.

Der Versender von Daten hat dem Datenempfänger ein Datenversandprotokoll zuzusenden (z.B. per Fax), welches vom Datenempfänger zurückgesandt wird, um somit den ordnungsgemäßen Datenerhalt zu quittieren.

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

Es sind grundsätzlich die neuesten, freigegebenen Daten, bzw. Zeichnungen verbindlich.

Die Pflege der Datensätze obliegt ausschließlich dem für die Produktentwicklung verantwortlichen Unternehmen, nicht aber dem Werkzeugbauer oder Kunststoffverarbeiter, es sei denn, es erfolgt eine separate Beauftragung.

Werden für ein Formteil eine (2D-) Zeichnung und ein 3D-Datensatz übergeben, ist der Lieferant der Daten dafür verantwortlich, dass beide Formteilbeschreibungen identische Geometrien beschreiben. Diese Verantwortlichkeit resultiert folgerichtig daraus, dass in der Regel nur der Datenlieferant die Identität der beiden Datenausgaben überprüfen kann.

Beinhaltet das CAD-Modell Freiformflächen, kann nur dieses die einzig verbindliche Arbeitsgrundlage sein.

Widersprechen sich 3D-Datensatz und Zeichnung bzw. in diesen enthaltene Toleranzen kann dies nicht zu Lasten des Auftragnehmers gehen, da dies ein Mangel der Aufgabenstellung bzw. des Auftrags ist.

#### 1.1.4 Änderungen

Eine Änderung der Formteilgeometrie durch den Werkzeugbesteller (neuer Datensatz oder Zeichnung) bringt automatisch neue Termine und Preisverhandlungen mit sich.

#### 1.1.5 Werkzeugspezifikation

Es wird dringend empfohlen für die Beschreibung und Spezifikation von Spritzgießwerkzeugen schon im Zuge einer Werkzeuganfrage (Angebotsphase) und Werkzeugbestellung eine Spezifikation in Anlehnung an die DIN 16 916 zu erarbeiten und aktenkundig zu übergeben.

#### 1.1.6 Entformungsschrägen

Es ist allgemein bekannt und akzeptiert, dass alle mit Urformverfahren erzeugten Bauteile, über Aushebe- oder Entformungsschrägen verfügen müssen.

Der in der Vergangenheit auf Papierzeichnungen gebräuchliche Hinweis auf die zulässigen Entformungsschrägen ist heute als nicht mehr zeitgemäß strikt abzulehnen.

Bei gleichzeitiger Übergabe eines 3D-Modells eines Formteils wird dieses hierdurch als nicht fertig konstruiert deklassiert. Das wirklich Fatale aber ist, dass es bei der Einarbeitung der Entformungsschrägen eine Vielzahl von Möglichkeiten der geometrischen Gestaltung gibt und das Formteil damit unbestimmt ist. Die Gestalt des durch das Anbringen der Entformungsschrägen veränderten Bauteils hängt also von demjenigen ab, der die Entformungsschrägen nachträglich anbringt. Da dieser beispielsweise als Werkzeugonstrukteur meist nicht im vollen Umfang die Funktions- und Einbaubedingungen kennt, kann dieser auch nicht die Formteilgeometrie signifikant verändern.

# Formteilentwicklung und Werkzeugbau

## Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

### 1.2 Begriffsbestimmungen

#### 1.2.1 Kunststoffformteil

Es ist leicht verständlich, dass ein Kunststoffformteil, oft auch als Kunststoffteil, Artikel oder Produkt bezeichnet, mit den Verfahren der Kunststoffverarbeitung herstellbar sein muss.

Das bedeutet, dass Entformungsschrägen, Wandstärkenverhältnisse, Mindestradien, die grundsätzliche Entformbarkeit usw. abgestimmt auf das Fertigungsverfahren und die geforderte Qualität vorhanden sein müssen.

Insbesondere von branchenfremden Bestellern von Formteilen kann nicht erwartet werden, dass diese bis zur Produktionsreife auskonstruierte Teile bereitstellen.

Angefragte Bauteile, welche noch nicht kunststoffgerecht gestaltet sind, werden als Funktionsteil oder auch als Kundenwunschteil bezeichnet.

Wesentlich ist hier, dass der Kunde in einem frühen Stadium, also schon in der Angebotsphase, darauf hingewiesen wird, dass zur Erzielung einer stabilen Qualität, einer störungsarmen Produktion und möglichst kostengünstiger Werkzeuge die angefragten Bauteile in einer weiteren Entwicklungsphase kunststoffgerecht gestaltet werden müssen.

Die hier zu investierenden Aufwendungen werden durch die zu erwartenden Vorteile während der Serienproduktion in der Regel überkompensiert. Oft ist die Einsparung allein am Werkzeug schon größer als die werkzeuggerechte Überarbeitung der Bauteile selbst kostet.

#### 1.2.2 Werkzeugeingruppierung

Die Erfahrung aus der Praxis hat gezeigt, dass sich eine Gruppierung der Werkzeuge, entsprechend Abschnitt 1.2.2.1 bis 1.2.2.4 als sinnvoll erwiesen hat.

##### 1.2.2.1 Vorserienwerkzeuge

Vorserienwerkzeuge werden auch als Prototypenwerkzeuge, Primitivwerkzeuge, Versuchswerkzeuge, Kleinserienwerkzeuge oder Interimswerkzeuge bezeichnet und sind Formwerkzeuge, welche hinsichtlich ihrer Qualitätsmerkmale, der Ausstattung und der Aufwendigkeit ihrer Anfertigung mehr oder weniger deutlich unter den Serienwerkzeugen liegen.

Mit Prototypenwerkzeugen, Primitivwerkzeugen oder Versuchswerkzeugen sollen Kunststoffteile in geringen Stückzahlen (oft 50 bis 500 in Ausnahmen 1.000 Teile) zum Zweck der Serienvorbereitung aus dem Originalkunststoff hergestellt werden.

Typischer Weise ist der Herstellungspreis der unter dem Begriff Vorserienwerkzeuge zusammenfassbaren Werkzeuge im Vergleich zu Serienwerkzeugen deutlich geringer.

Da in diesen Fällen der Kostenanteil der Herstellung der Kunststoffteile im Vergleich zu dem der Werkzeuge gering ist und lediglich die Gesamtkosten von Interesse sind, stellt Gratbildung am Teil hier keinen Mangel des Werkzeuges dar.

# Formteilentwicklung und Werkzeugbau

## Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

### 1.2.2.2 Werkzeuge für geringe Stückzahlen

Die Stückzahlen liegen über denen von Prototypenwerkzeugen.

Der Ausbringungsbereich liegt zwischen 500 bis einige tausend Teile. Kennzeichnend für diese Werkzeuge ist, dass diese so aufgebaut bzw. ausgestaltet sind, dass lediglich die geforderte Formteilqualität sichergestellt wird. Zykluszeit, Bedienkomfort und Verschleiß spielen eine untergeordnete Rolle.

Diese Werkzeuge sind immer 1-fach ausgelegt.

### 1.2.2.3 Werkzeuge für mittlere bis hohe Stückzahlen

Hier sollten durchdacht konstruierte Werkzeuge, ausgestattet mit einer intensiven Werkzeugtemperierung, soliden Führungen und Dichtungen und einer guten Reparierbarkeit Verwendung finden.

Typische Stückzahlen 50.000 bis 1.000.000 Teile.

### 1.2.2.4 Werkzeuge für höchste Stückzahlen mit höchstem Anspruch

Hier ist der höchste technische Aufwand gerechtfertigt.

Falls kein Werkzeug für sehr ähnliche Teile vorhanden ist, aus dem wesentliche Erkenntnisse gezogen werden können, ist der Bau eines seriennahen Versuchswerkzeuges anzuraten.

Erst wenn Formteil und die Nestgestaltung perfekt sind, sollte die Realisierung des Serienwerkzeuges vorgenommen werden.

Hinsichtlich der Temperierung, der Zentrierung und Führung, der Materialien, der Werkzeugkinematik und des Angieß- und Auswurfsystems ist der höchste Aufwand gerechtfertigt.

Der Preis eines solchen Werkzeugs ist für die Gesamtwirtschaftlichkeitsbetrachtung von untergeordneter Bedeutung, da ein Werkzeug, welches für eine Stückzahl von beispielsweise 20.000.000 Teilen gebaut wird, auch nur mit einem Zwanzigmillionstel in die Stückkosten eingeht. Eine Einsparung von vier Sekunden Zykluszeit, das können 10% sein, bringt wirtschaftliche Einsparungseffekte in ganz anderen Größenordnungen.

Diese Werkzeuge rechnen sich ausschließlich über die möglichst geringe Zykluszeit und geringe Ausfallraten.

## 1.3 Entwicklungsgrundsätze

Solange kein Entwicklungsauftrag erteilt wird, trägt die technische Verantwortung für alle das Formteil betreffenden Festlegungen (oder eben Nichtfestlegungen) der Werkzeugbesteller. Nur er kennt die Anforderungen an die Kunststoffteile umfassend und ist in der Lage die Qualitätskriterien zu definieren.

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

#### 1.3.1 Tolerierung von Kunststoffteilen

Üblicher Weise werden Bauteile heute mittels eines 3D-Datensatzes beschrieben und als 3D-Volumenmodell übergeben.

Diese CAD-Modelle beschreiben die Geometrien umfassend und mit einer ultimativen Genauigkeit.

In der Praxis ist diese Genauigkeit weder realisierbar noch erstrebenswert.

Mit Blick auf die Fertigungskosten und die Funktion der Bauteile muss nun nach dem altbekannten Grundsatz „Nur so genau wie nötig“ die Tolerierung vom Kunden selbst oder im Zweifel mit Hilfe der Fachfirma festgelegt werden.

Dabei sind die für die Funktion wichtigen Maße der Formteile in Form von Prüfmaßen üblicher Weise auf Zeichnungen einzutragen. Hier gilt der Grundsatz weniger ist oft mehr.

In der Praxis ist immer wieder zu beobachten, dass sich Maßtoleranzen, insbesondere dann, wenn sie mit asymmetrischen Toleranzfeldlagen versehen wurden, oft auch in Verbindung mit notwendigen Entformungsschrägen, einander widersprechen. Dies kann bei der Festlegung von wenigen, für die Funktion der Bauteile wirklich wichtigen Maßen kaum passieren.

Es ist selbstverständlich, dass die Prüfmaße sich möglichst einfach und gut nachvollziehbar messen lassen müssen. Theoretische Kanten, Lichtkanten oder gar Schnittpunkte von 3D-Kurven im Raum sind hier völlig ungeeignet.

Umfangreiche 3D-Komplettvermessungen von beispielsweise 300 oder 400 Maßen bei handteller-großen Bauteilen oder optische Komplettvermessungen sind als nicht zielführend abzulehnen.

Hier droht der Blick für das Wesentliche verloren zu gehen.

Es ist Grundsatz, dass widersprüchliche oder falsche Tolerierungen in Formteilzeichnungen zu Lasten desjenigen gehen, der diese erstellt hat.

#### 1.3.2 Die Festlegung der Schwindung

Die Schwindung der Kunststoffe ist ein physikalischer Vorgang, welcher in die Verarbeitungsschwindung und, insbesondere bei teilkristallinen Kunststoffen, die Nachschwindung zu unterteilen ist.

Die Schwindung und die Nachschwindung sind überwiegend von der Kunststoffsorte, den Füll- und Verstärkungsstoffen abhängig, zu dem aber auch von den Additiven, den Verarbeitungsparametern, wie Massetemperatur, Spritzdruck, Nachdruck und der Abkühlgeschwindigkeit, welche wiederum durch die Werkzeugtemperatur und den Entformungszeitpunkt bestimmt wird, abhängig.

All die genannten verarbeitungsrelevanten Einflussfaktoren werden im Verarbeitungsprozess also vom Kunststoffverarbeiter, nicht aber vom Werkzeugbauer bestimmt.

Der Werkzeugbau und die Werkzeugkonstruktion haben, die Ausstattung der Werkzeuge mit einer angemessenen Temperierung und die technologisch sinnvolle Anschnittlage vorausgesetzt, keinen Einfluss auf die Schwindung.

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

Den im Werkzeug umzusetzenden Schwindungswert kann also nur der Kunststoffverarbeiter festlegen.

Im Zweifel ist hier die Auswertung des Schwindungsverhaltens an vergleichbaren Bauteilen mit gleichen Materialien zu empfehlen.

#### 1.3.3 Verzug von Kunststoffteilen

Es ist allgemein bekannt, dass sich Kunststoffteile, insbesondere während des Herstellungsprozesses aber zum Teil auch noch danach, mehr oder weniger verziehen.

Die Ursache des Verzuges sind immer Schwindungsdifferenzen innerhalb eines Bauteils, welche wiederum auf physikalische Grundzusammenhänge zurückgehen.

Verzüge an gegebenen Bauteilen lassen sich oft nur noch sehr begrenzt werkzeugkonstruktiv oder technologisch beeinflussen. In vielen Fällen bringt das Abkühlen mit Hilfe von Abkühllehren oder eine deutlich verlängerte Zykluszeit gewisse Verbesserungen.

Diese Maßnahmen erhöhen allerdings die Herstellungskosten.

Die verzugsarme Konstruktion der Kunststoffteile von Anfang an ist demnach eine grundlegende Forderung.

#### 1.3.4 Maßabweichung oder Verzug?

Da der Verzug von Bauteilen, insbesondere bei größeren Bauteilen, Abweichungen von der Nenngeometrie erzeugen kann, die sehr deutlich über denen der Maßtoleranzen liegen, sind beide Abweichungen strikt voneinander zu trennen.

Beispielhaft sei hier ein 500 Millimeter langes Kunststoffteil genannt, welches sich nur drei Millimeter im Sinne einer Durchbiegung verzieht. Dieses Bauteil hat an beiden Enden je ein Rasthaken, welcher mit einem Rasthöhenmaß von  $X \pm 0,1$  Millimeter toleriert wurde. Es ist sicher leicht verständlich, dass es völlig sinnlos ist hier von einer dreißigfachen Überziehung der Toleranz zu sprechen.

Für den Fall, dass der hier genannte Verzug ein Qualitätsproblem darstellt, wurde schlicht nicht kunststoffgerecht konstruiert.

#### 1.3.5 Toleranzfeldlagen

Insbesondere bei den heute üblichen Bauteilen mit komplexen 3D-Geometrien ist es äußerst problematisch, im Werkzeugbau bzw. in der Werkzeugkonstruktion Veränderungen an den Teilegeometrien vornehmen zu lassen.

Schon bei der Korrektur der Toleranzfeldlage können Bauteile bei tangentialen Übergängen aber auch in anderen Geometriebereichen in für den Anwender unzulässiger Weise verändert werden. Das ist insbesondere an Geometriebereichen problematisch, wo flache Winkel tangential in Bögen oder sonstige Kurven übergehen.

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

Wird die Seitenlänge eines Quaders in Rahmen des Toleranzfeldes verschoben, existiert nur eine mathematische Lösung. Die Lösung ist eindeutig.

Wird hingegen bei einem heute üblichen, mit Entformungsschrägen und Freiformflächen versehenen Bauteil, dessen Flächen in der Regel tangential ineinander einlaufen, eine Fläche verschoben, existieren unendlich viele Lösungen. Zu beachten ist hierbei, dass die Größenordnung der Flächenverschiebung im CAD unerheblich ist. Tangentiale Übergänge werden bei einer Flächenverschiebung von 0,01 Millimetern genauso zerstört wie bei einer größeren Verschiebung.

Da Formwerkzeuge aber zur Erhaltung einer Fertigungstoleranz für die Teilefertigung unbedingt auf Toleranzmittenmaß gefertigt werden müssen, ist es zwingend notwendig bei Formteilen ausschließlich symmetrische Toleranzen zu verwenden und auch auf Toleranzmittenmaß zu modellieren.

Diese Arbeitsweise erfordert geringfügig erhöhte Aufwendungen während der Entwicklungsphase. Allerdings entfallen die oft sehr aufwändigen Tätigkeiten des nachträglichen Anbringens der Entformungsschrägen und des Verschiebens der Flächen auf Toleranzmittenmaß, welche der Endkunde, unabhängig davon in welchen Teil des Angebotes diese Arbeiten versteckt werden, bezahlen muss.

#### 1.3.6 Asymmetrische Toleranzen

Asymmetrische Toleranzen an Formteilen sind entsprechend Abschnitt 1.3.5 unzulässig, da sie mit der heute üblichen 3D-Technologie, von sehr einfachen Teilen abgesehen, nicht umsetzbar sind.

(Das Maß  $100 - 0,6$  (oberes Abmaß 0 / unteres Abmaß  $-0,6$ ) legt die gleiche Toleranz fest wie das Maß  $99,7 \pm 0,3$ ). Ist nun im CAD-Datensatz das Nennmaß 99,7 realisiert, sind eindeutige Festlegungen für alle Beteiligten getroffen, deren Einhaltung kein Problem sein sollte.

#### 1.3.7 Entformungsschrägen an Kunststoffformteilen

In Zeiten, als Bauteile mittels Papierzeichnung definiert wurden, war es gebräuchlich, wenn auch schon damals schon nicht immer sinnvoll, die zulässigen Entformungsschrägen verbal über dem Schriftfeld der Zeichnung festzulegen.

Da hiermit Formteilgeometrien nicht eindeutig definiert wurden, entstanden dadurch häufig Zustände im Werkzeug, die so nicht gewollt waren.

Hohe Werkzeugänderungskosten und der Streit, wer diese zu tragen habe, waren die Folge.

Dieser Zustand führte zu dem weit verbreiteten Irrweg, zur Anbringung der Entformungsschrägen die Toleranz auszunutzen.

Die direkte Folge dessen ist, dass in der Kunststoffteilefertigung ohne Toleranzen gearbeitet werden muss, was in der Praxis schlicht nicht möglich ist.

Diese Tolerierungsart ist aus den genannten Gründen kompromisslos abzulehnen.

CAD-Datensätze von Formteilen ohne Entformungsschrägen sind bestenfalls als Entwürfe oder als Funktionsteil oder Kundenwunschteil nach der oben genannten Definition zu bezeichnen.

Es ist fatal, wenn solche Datensätze Basis für die Werkzeugkonstruktionen sind. Im weiteren Fort-

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

gang der Projektbearbeitung sollte es dann nicht verwundern, wenn die Freigabeprozedur der Werkzeuge alle zeitlichen und finanziellen Rahmen sprengt.

#### 1.3.8 Maßvorhaltungen

Es kann in der Produktionsvorbereitungsphase durchaus sehr sinnvoll sein, in bestimmten Geometriebereichen des Formteils Maße vorzuhalten. Das heißt im Werkzeug noch Konturwerkstoff (Stahl) stehen zu lassen, welcher später, mit relativ geringem Aufwand, noch abgetragen werden kann, um am Formteil gewünschte maßliche Veränderungen zu erreichen.

Dies hat jedoch nichts mit der Tolerierung des Formteils zu tun, sondern bedarf einer gesonderten Abstimmung zwischen Formteilbesteller, Formteilhersteller und Werkzeugbau.

Hier bietet sich an, die betroffenen Flächen im CAD-Modell andersfarbig einzufärben und schriftlich ein Aufmaß für die entsprechende Fläche festzulegen.

#### 1.4 Beschaffung der Werkzeuge

##### 1.4.1 Grundlagen der Werkzeugbeschaffung

#### Werkzeuge sind Unikate!

Sie sind so individuell wie die Teile, die mit den Werkzeugen hergestellt werden, die zu produzierenden Stückzahlen der Teile, die technische Ausstattung der Teileproduzenten und deren Umgang mit den Werkzeugen.

Die logische Konsequenz dessen ist, dass es keine allgemeingültigen Anforderungen an die Beschaffenheit der Werkzeuge geben kann.

Es wird daher dringend empfohlen eine möglichst detaillierte Werkzeugspezifikation zu erarbeiten und vertragsrelevant zu übergeben. Hilfe bei der Erarbeitung einer solchen Spezifikation gibt die DIN ISO 16 916.

#### ***Beispiel zur Illustration.***

*Ohne jeden Zweifel werden die konturbildenden Teile der allermeisten Formwerkzeuge aus guten fachlichen Gründen gehärtet. Dennoch gibt es durchaus Werkzeuge, welche für eine Gesamtausbringungszahl vom zum Beispiel 5.000 Teilen mit Konturteilen aus vergütetem Stahl aus technischer Sicht vollkommen in Ordnung sind.*

Eine detaillierte Beschreibung der erwarteten technischen Beschaffenheit ist daher unablässig. Eine ausführliche technische Spezifikation, eventuell unter Zuhilfenahme der unten aufgeführten Normen, ist eine wichtige Voraussetzung, um späteren folgenschweren Missverständnissen vorzubeugen.

Wichtig sind ebenfalls solche Festlegungen, wer mustert und wie oft, wer erstellt den Erstmusterprüfbericht und der gleichen mehr.

Wer, wie es in gerichtlichen Prozessakten dann häufig zu lesen ist, „ein Stück Spritzgießwerkzeug zum Preis von ..., Liefertermin am...“ bestellt, sollte sich nicht wundern, wenn er zum Liefertermin irgendein Werkzeug geliefert bekommt.

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

Weiterhin wird dringend empfohlen, die Werkzeugspezifikation den potentiellen Lieferanten schon bei der Anfrage zu übergeben. Da es ohnehin äußerst komplex ist, Werkzeugangebote fachlich fundiert zu vergleichen, sollten die Bestrebungen dahin gehen, die Vorstellungen des zu schaffenden Werkzeugs zwischen den Beteiligten möglichst zu vereinheitlichen.

Die Verarbeitungsschwindung, oft auch Schwindung oder Schwund genannt, kann im Wesentlichen nur vom Kunststoffverarbeiter beeinflusst werden. Daraus ergibt sich zwingend, dass die Schwindung auch nur vom Kunststoffverarbeiter festgelegt werden kann.

Die in Abschnitt 1.2.2 eingeführte Gruppierung soll lediglich eine Anregung sein, sich über die Auslegung und die Ausstattung der Werkzeuge detaillierte Überlegungen anzustellen. Schließlich soll mit dem Werkzeug in der Regel viele Jahre produziert werden. Es ist bekannt, dass einmal getroffene Entscheidungen bezüglich des Werkzeuges nicht oder nur mit großem Aufwand zu revidieren sind. Ebenfalls bekannt ist, dass die Fertigungskosten im Wesentlichen in der Produktionsvorbereitungsphase beeinflusst werden können.

#### 1.4.2 Werkzeuge sind Unikate!

Werkzeuge sind Unikate und sollten als solche behandelt werden.

Werkzeuge sind Fertigungsmittel, welche typischer Weise nur einmal gebaut werden.

Neu entwickelte Kunststoffformteile sind überwiegend sowohl konstruktives als auch technologisches Neuland. Oft ist noch gedankliche Nacharbeit zu leisten. Das geht nur miteinander.

Im Gegensatz zu anderen Maschinen oder Geräten, von denen zunächst mehrere immer wieder verbesserte Prototypen erzeugt werden, danach eine Vorserie, dann die Nullserie und erst danach die Serienproduktion beginnt, wird in der Werkzeugbaubranche erwartet, dass mit einem Werkzeuge auf Anhieb mehrere hunderttausend bis einige Millionen Kunststoffteile in der erwarteten Qualität in einer minimalen Zykluszeit hergestellt werden können.

Die in Werkzeugkonstruktion und Werkzeugbau zu lösenden Aufgaben sind so individuell wie die damit zu produzierenden Kunststoffteile.

Die Werkzeugfüllung, der Druckbedarf und die erforderliche Werkzeugzuhaltkraft lassen sich heute mit entsprechenden Simulationsprogrammen berechnen.

Außer bei Werkzeugen für sehr große Formteile, wie etwa Stoßfänger oder Instrumententafeln, sind diese relativ kostenintensiven Berechnungen nicht selbstverständlich. In der Anfrage ist anzugeben, ob und wenn welche Simulationsrechnungen gefordert sind.

Ob sich Formteile hinsichtlich der Entformung als problematisch erweisen oder nicht, kann oft nicht vorhergesagt werden. Zumal hier der Einfluss der handwerklichen Fertigung der Werkzeugoberflächen sehr groß ist.

Beim heutigen Stand der Technik gibt es hier keine andere Möglichkeit als die Abschätzung des Fachmanns. Und auch der erfahrenste Werkzeugkonstrukteur oder Werkzeugbauer muss sich hier mitunter von der Praxis belehren lassen, dass ein Bauteil zunächst auf der Düsenseite hängen bleibt, oder in einem bestimmten Geometriebereich die Entformungskräfte zu groß sind.

Ganz sicher gibt es für die allermeisten Probleme auch eine technische Lösung.

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

Dennoch ist es mit Blick auf die Werkzeugbaukosten nicht möglich für alle möglicherweise auftretenden Probleme alle technisch denkbaren Lösungen von vornherein einzubauen bzw. konstruktiv vorzusehen.

Bei vermeidlichen technischen Problemen mit dem Kunststoffformteil, Qualitätsproblemen oder Problemen bei der Produktion mit dem Werkzeug ist der einzig mögliche, technisch sinnvolle und hier ausdrücklich empfohlene Weg die gemeinsame Suche nach einer Lösung zwischen allen Beteiligten.

Es sollten also der Kunde (Kunststoffteilbesteller), der Kunststoffverarbeiter und der Werkzeugbauer ggf. auch der Materiallieferant gemeinsam an einer Lösung arbeiten, da alle ein Interesse daran haben und nach den einschlägigen Erfahrungen der Autoren dieser Broschüre in den meisten Fällen auch alle Beteiligten einen mehr oder weniger großen Anteil an der Ursache der Probleme haben.

Ein auch selbstkritisches Hinterfragen des eigenen Handelns ist hier oft deutlich hilfreicher als die Drohung mit Rechtsanwälten und Gerichtsverfahren. Der juristische Weg ist sehr wohl geeignet mit einem erheblichen Zeit- und Kostenaufwand die juristische Verantwortung in der Lieferkette zu klären, aber niemals die technischen Probleme.

Keinesfalls sollten diese Ausführungen so verstanden werden, ein Werkzeug so einfach ausgestattet und damit billig anzubieten, dass es schlicht ungeeignet ist, oder aber die Anforderungen an ein Werkzeug in Form der Formteilentwicklung und der Werkzeugspezifikation so unausgereift und unkonkret zu halten, dass alle vorstellbaren Rahmen gesprengt werden.

Immer wieder Erstaunen bei den anfragenden Einkäufern lösen die sehr großen Streuungen der angebotenen Werkzeugpreise, die oft mehr als 100% betragen, aus.

Hinlänglich bekannt ist das Preisspektrum von straßenüblichen Autos von ca. 8.000 bis 80.000 €. Die hier zu erwartenden Qualitätsunterschiede leuchten jedem Laien ein.

Bei Werkzeugen als sehr zentralem Produktionsmittel scheint oft der Preis das alleinige Entscheidungskriterium zu sein, obwohl den Produktionsleitern als auch den Qualitätsverantwortlichen die Probleme und die Kosten, welche minderwertige Werkzeuge erzeugen, hinreichend bekannt sind.

#### 1.4.3 Werkzeugkonzeption und Werkzeugkonstruktion

Die Begriffe „Werkzeugkonzeption“ und „Werkzeugkonstruktion“ bedingen einander. Umso wichtiger ist es, die Werkzeugkonzeptionsphase und Werkzeugkonstruktion auseinander zu halten, zumal die Verantwortlichkeiten unterschiedlich sind.

Das Werkzeugkonzept ist Teil der Aufgabestellung für den Werkzeugbau und sollte mit der Werkzeugspezifikation schon mit der Anfrage übergeben werden.

Hier werden alle grundsätzlichen Ausstattungsmerkmale festgelegt.

# Formteilentwicklung und Werkzeugbau

## Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

Das sind beispielsweise

- die maximale Werkzeuggröße
- die Fachzahl der Werkzeuge
- das Angusskonzept
- die Art der Führungen und Zentrierungen
- das grundsätzliche Entformungskonzept
- die Intensität der Werkzeugtemperierung und
- weitere das Werkzeug im grundsätzlichen Aufbau beschreibende Angaben.

Die Werkzeugkonstruktion ist detaillierte technische Gestaltung des Werkzeugs. Heute üblich ist die Konstruktion der Werkzeuge als 3D-Modelle und die Erzeugung von Zeichnungen im vom Kunden gewünschten Umfang.

### ***Beispiel zur Illustration.***

*Es ist wenig sinnvoll, die nicht vollständige Füllung eines Werkzeuges oder Einfallstellen am Ende des Fließweges zu reklamieren, wenn bei einem zu langen Fließweg der rechtzeitigen Empfehlung des Werkzeugmachers zum Einbau eines vorher nicht geplanten Heißkanalangesusses mit Blick auf die Kosten abgelehnt wurde.*

Ein sorgfältig ausgearbeitetes und in einer Werkzeugspezifikation niedergeschriebenes Werkzeugkonzept bringt weiterhin den Vorteil, dass erst hierdurch Werkzeugangebote vergleichbar werden.

Im Übrigen rechtfertigt allein der finanzielle Umfang der Investition die ordentliche Vorbereitung der Auftragsvergabe. Schließlich bestellt auch kein Bauherr ein Haus für eine vierköpfige Familie ohne dies näher zu beschreiben.

## **2 Realisierbarkeit und Dokumentation der Formteilmaßhaltigkeit**

### **2.1 Geometrische Produktspezifikation (GPS) und Tolerierungsgrundsätze**

Im Abschnitt 1.3 wurde als ein wichtiger Qualitätsschwerpunkt der Formteilanforderungen die Maßhaltigkeit hervorgehoben. Die dort formulierten grundsätzlichen Festlegungen sollen nachstehend präzisiert werden, wobei neben der Übersicht zum aktuellen Stand der Normung und Technik auch Vorschläge für eine zukünftige Normungsarbeit begründet werden. Die Notwendigkeit einer vertiefenden Darstellung der Maßhaltigkeitsprobleme für Kunststoff-Formteile ergibt sich u. a. auch aus der Bandbreite der Leistungsfähigkeit kunststoffverarbeitender Betriebe.

#### **2.1.1 Sachliche und normative Grundlagen**

##### **2.1.1.1 Tolerierungsgrundsätze**

In Konstruktionszeichnungen (Technische Zeichnungen, CAD-Datensätze) werden geometrisch definierte Körper (Formteile, Werkstücke u. a.) dargestellt und bemaßt. Die eingeschriebenen Formen, Lagen, Abmessungen und Oberflächenbeschaffenheiten können niemals absolut genau ge-

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

fertigt werden. Für alle geometrischen Bestimmungsgrößen müssen daher Toleranzen vereinbart und festgelegt werden, die als Genauigkeitsvorschriften für die Erzeugnisherstellung verbindlich sind.

- Zu kleine (enge) Toleranzen erhöhen die Herstellkosten durch Ausschuss bzw. Nacharbeit und / oder durch größeren Fertigungs- und Prüfaufwand.
- Zu große (grobe) Toleranzen verhindern bzw. erschweren Austauschbarkeit und Zusammenbau und / oder führen zu Funktionsversagen bzw. Funktionseinschränkung bei der Erzeugnisanwendung.

Es gilt daher der Tolerierungsgrundsatz:

**So genau wie erforderlich, so ungenau wie möglich.**

Toleranzfestlegungen erfordern zum Erstellen der Formteilmontagezeichnung immer den Vergleich von funktional erforderlicher und fertigungstechnisch möglicher Toleranz:

**Erforderliche Fertigungstoleranz  $\geq$  Mögliche Fertigungstoleranz**

Bei Erfüllbarkeit der Relation ist prinzipiell die erforderliche Fertigungstoleranz bestimmend. Damit werden im Sinne des vorstehend formulierten Tolerierungsgrundsatzes anwendungstechnisch unnötige und wirtschaftlich unsinnige Genauigkeitsforderungen vermieden. Übliche Ausreden, wie „nach unserer Erfahrung“ oder „aus Sicherheitsgründen“ sind zur Begründung kleiner Toleranzen wenig hilfreich und meist auch nicht zutreffend. Konstrukteure mit ausschließlicher Tolerierungspraxis für Metallteile neigen häufig aus Unkenntnis oder Gewohnheit bei der Tolerierung von Kunststoff-Formteilen zu kleinen Toleranzen, die weder fertigungstechnisch realisierbar noch praktisch erforderlich sind. In solchen Fällen hat dann der Formteilabnehmer keinen Grund zur Beanstandung der Maßhaltigkeit, und der Formteilhersteller wähnt sich u. U. in der Position eines Präzisionspritzgießers – ein „Hornberger Schießen“ mit großer Illusionsgefahr. Besteht der Formteilabnehmer trotzdem auf Einhaltung der kleinen Toleranzen, so ist im juristischen Sinne der Hersteller der Verlierer, da die tolerierte Zeichnung Bestandteil des Liefervertrages ist.

#### 2.1.1.2 Geometrische Produktspezifikation (GPS)

Mit der Globalisierung der Wirtschaft ist eine stärkere Internationalisierung der technischen Normung (ISO) unumgänglich. Bezüglich der Einhaltung geometrischer Toleranzen wurde die **Geometrische Produktspezifikation (GPS)** als internationale Qualitätssicherungsstruktur eingeführt, die inhaltlich verschiedene Normen unterschiedlicher Zuordnungsebenen und –merkmale umfasst. Ausgewählte allgemeine und grundsätzliche Normen (GPS-Grundnormen) sollen zum Verständnis des weltweit gültigen ISO-Systems den Toleranzarten zugeordnet werden:

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

Toleranzarten		Zugeordnete Formelemente	GPS-Grundnormen
Maßtoleranzen	Längenmaße	Maß	DIN EN ISO 286-1
	Winkelmaße	Richtung	
Form- und Lagetoleranzen		Form, Richtung, Ort	DIN EN ISO 1101
Rauheitstoleranzen		Oberfläche	DIN EN ISO 4287/A1

Übergeordnete **Tolerierungsprinzipien für technische Zeichnungen** als Zusammenhang zwischen Maßtoleranzen und Form- und Lagetoleranzen sind in DIN ISO 8015 festgelegt.

#### 2.1.1.3 Unabhängigkeitsprinzip

Jede in einer Zeichnung angegebene Anordnung für Maß-, Form- und Lagetoleranzen muss unabhängig voneinander eingehalten werden, falls nicht eine besondere Beziehung angegeben wird.

Wird keine Beziehung angegeben, so gelten die Form- und Lagetoleranzen unabhängig vom Istmaß des Formelementes. Maß-, Form- und Lagetoleranzen haben dann keine gegenseitige Beziehung.

Wird aber eine Beziehung von

- Maß und Form
- Maß und Richtung oder
- Maß und Ort

gefordert, so muss dies in der Zeichnung eingetragen werden.

Zeichnungen, in denen das Unabhängigkeitsprinzip angewendet wird, erhalten in oder nahe am Zeichnungsschriftfeld folgenden Hinweis: **TOLERIERUNG ISO 8015**

#### 2.1.1.4 Hüllbedingung

Für ein einzelnes Formelement, also einen Zylinder oder zwei parallele ebene Flächen, kann die Hüllbedingung gelten. Sie fordert, dass das Formelement die geometrisch ideale Hülle von Maximum-Material-Maß nicht durchbricht.

Die Hüllbedingung kann eingetragen werden:

- mit dem Symbol 
- durch Bezug auf eine Norm, in der festgelegt ist, dass die Hüllbedingung ohne zusätzliche Zeichnungseintragung gilt.

Die Hüllbedingung ohne Zeichnungseintragung nach DIN 7167 ist für zylindrische und ebene Passflächen in Deutschland üblich (Bild 1). Für geringe Passlängen sind insbesondere bei Metallteilen die Form- und Lageabweichungen als Abweichungen von Geradheit, Ebenheit und Koaxialität im Verhältnis zu den Maßstreuungen vergleichsweise gering. Diese Bedingungen sind für Kunst-

# Formteilentwicklung und Werkzeugbau

## Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

stoff-Formteile meist nicht erfüllt, sodass auf das Unabhängigkeitsprinzip zu orientieren ist, zumal die Situation durch notwendige Entformungsschrägen noch erheblich verschärft wird.

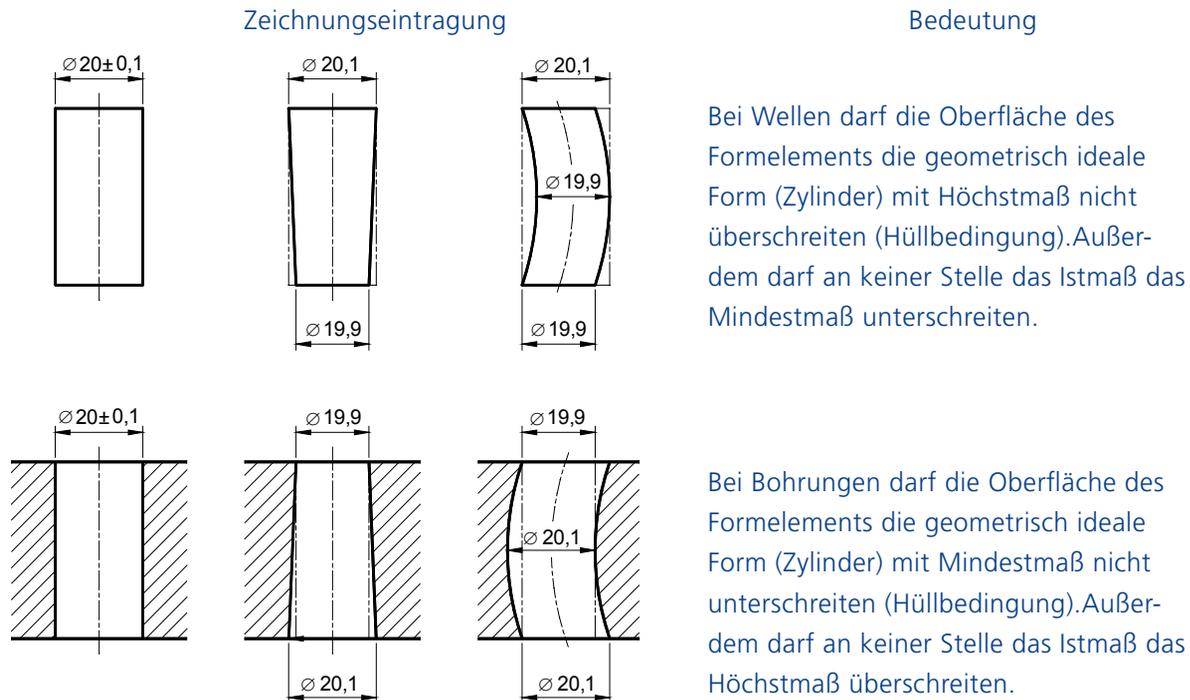


Bild 1: Hüllbedingung nach DIN 7176

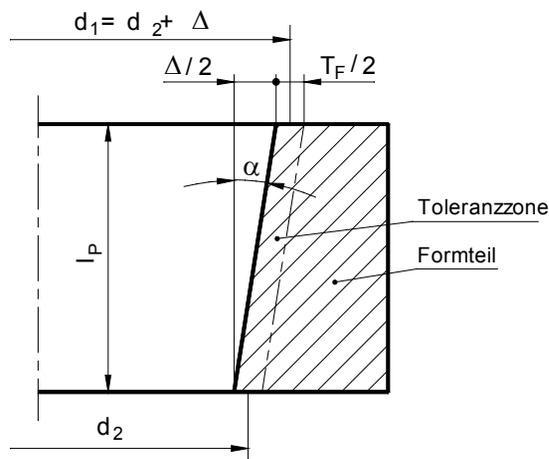
### 2.1.2 Entformungsschrägen und deren Bemaßung

#### 2.1.2.1 Grundlagen

**Entformungsschrägen (auch Aushebeschrägen)** sind fertigungsbedingte Neigungen am Formteil in Entformungsrichtung beweglicher Werkzeugteile (Stempel, Schieber, Backen), die als integraler Bestandteil der Formteilzeichnungen vom Formteilkonstrukteur für Werkzeugkonstruktionen und Werkzeugbau sowie Teilefertigung vorzugeben sind. Zahlenwerte der Neigungen bzw. Neigungswinkel sind von der Werkzeugkonturbeschaffenheit (glatt, strukturiert) sowie von den Kunststoffeigenschaften abhängig und im Regelfall als Erfahrungswerte bekannt.

**Formteilzeichnungen ohne vollständige und eindeutige Kennzeichnung der Entformungsschrägen sind weder als Bestellzeichnungen für Werkzeuge noch als Fertigungszeichnungen akzeptabel.**

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung



**Neigungsmaßdifferenz:**  $\Delta = 2 l_p \cdot \tan \alpha$

**Formteilmfertigungstoleranz:**  $T_F$

Bild 2: Schema der Entformungsschräge

Die Neigungsmaßdifferenz  $\Delta$  ist eine mathematisch definierte Konstruktionsvorgabe durch Passteilbreite  $l_p$  und Neigungswinkel  $\alpha$ . Sie ist keine statistisch interpretierbare Maßstreuung und beeinflusst daher nicht das Istmaß der Passteile. Ein Zusammenfassen von Neigungsmaßdifferenz und Formteiltoleranz als Gesamttoleranz ist aus diesem Grund nicht möglich. Lediglich Maßschwankungen durch die Neigungsfertigung sind Bestandteil der Maßtoleranz. In allen maßgebenden Formteiltoleranznormen (z. B. DIN 16901; SN 277012) wird explizit und eindeutig auf die Trennung von Maßtoleranz und Entformungsschräge hingewiesen. Wenn trotz allem in der Praxis relativ häufig die fertigungsbedingte Neigung als Bestandteil der Formteiltoleranz gefordert wird, so beruht dies offenbar auf einem Missverständnis der Hüllbedingung nach DIN 7167. **Konstruktiv vorgegebene Neigungsmaßdifferenzen sind keine Form- und Lageabweichungen.**

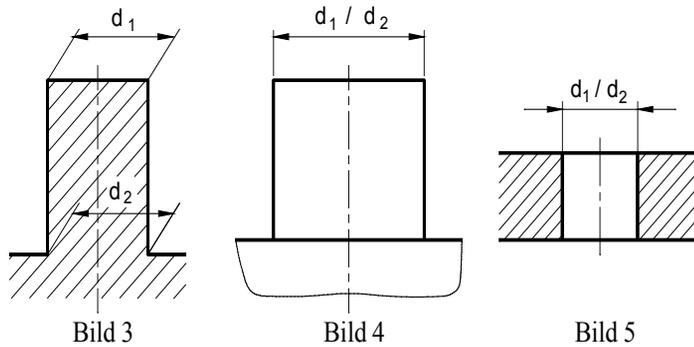
Während für funktionsbedingte Neigungen (Kegel, Konen) nach DIN ISO 3040 vollständige Darstellungs- und Bemaßungsregeln existieren, trifft dies für fertigungsbedingte Neigungen nur bedingt zu. Darin sind u. U. auch Ursachen für Irritationen zwischen den Entwicklern und Herstellern von Formteilen und Werkzeugen zu sehen. Wegen der geringen Neigungswinkel ( $\alpha = \text{ca. } 0,5^\circ \text{ bis } 3^\circ$ ) werden geneigte Flächen zeichnerisch meist planparallel dargestellt. Auf Papierzeichnungen werden die Neigungswinkel im Zeichnungsschriftfeld häufig pauschal angegeben. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Entformungsrichtungen eindeutig erkennbar sind. Das ist bei sehr einfachen Formteilen, nicht aber für technisch komplexere Teile gewährleistet. Diese Form der Bemaßung sollte nicht mehr angewendet werden. Nachfolgend werden daher Vorschläge zur Bemaßung fertigungsbedingter Neigungen gemacht, die auch eindeutige Maßtolerierungen ermöglichen.

### 2.1.2.2 Bemaßung von zwei Konturbegrenzungen

Bei zeichnerischer Vernachlässigung der Neigung sind die Maßzahlen entweder am Anfang und am Ende der Kontur (Bild 3) oder auf einer Maßlinie durch Schrägstriche getrennt einzutragen (Bild 4 und 5). Hierbei bezieht sich die Maßzahl vor dem Schrägstrich auf die näher gelegene, die hinter dem Schrägstrich auf die entfernter gelegene Konturbegrenzung. An jedem tolerierten Maß ist die Toleranz getrennt anzugeben.

# Formteilentwicklung und Werkzeugbau

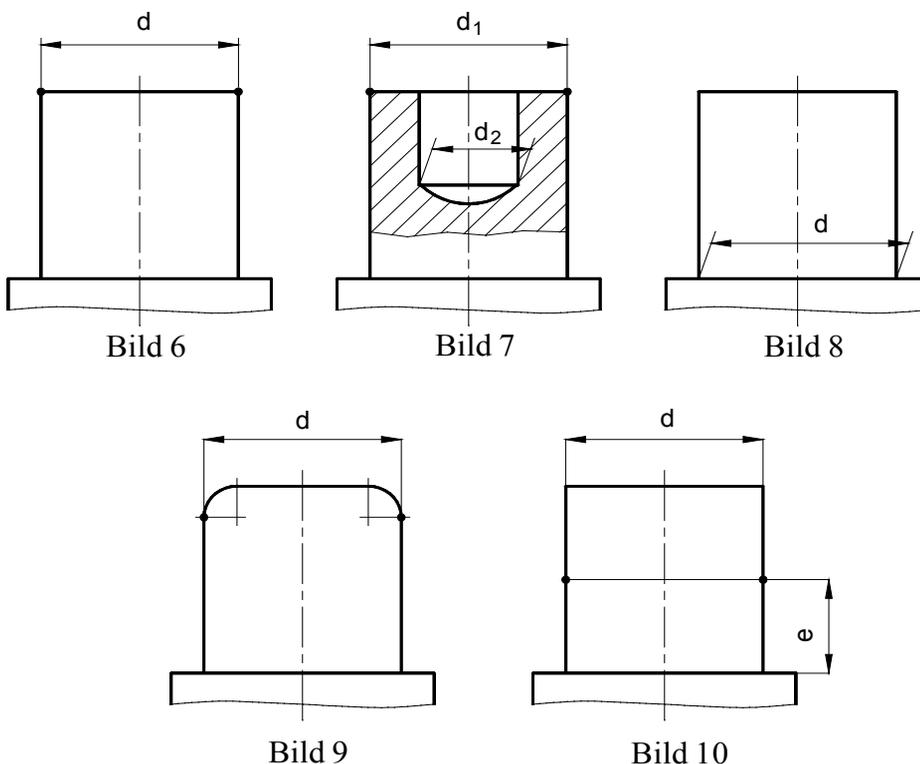
## Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung



### 2.1.2.3 Punktbezogene Bemaßung

Die Bemaßung in Entformungsrichtung des Werkzeuges verlaufender Konturen an nur einer Konturbegrenzung ist zulässig, wenn sich aus der Form der Kontur der notwendige Verlauf der Entformungsschräge zwangsläufig ergibt. In diesem Fall sind die Angriffspunkte der Maßhilfslinien durch Punkte zu kennzeichnen (Bild 6 bis 10). Auf und in Verlängerung einer Maßhilfslinie ist jeweils nur ein Punkt in Entformungsrichtung zulässig.

Beziehen sich die Angriffspunkte der Maßhilfslinien auf markante Stellen der Kontur, wie Innenkanten, so ist eine Markierung durch Punkte nicht notwendig ( $d_2$  in Bild 7 und  $d$  in Bild 8). Die Kennzeichnung einer Meßstelle hat ebenfalls durch Punkte zu erfolgen, deren Lage bemaßt werden muss (Bild 10).



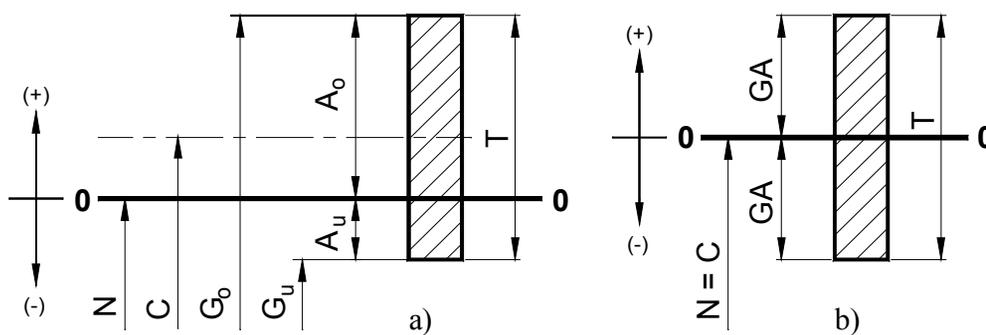
# Formteilentwicklung und Werkzeugbau

## Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

### 2.1.3 Maßtoleranzfelder für Formteilmfertigungszeichnungen

#### 2.1.3.1 Toleranzfeldlagen

Formteilzeichnungen im Sinne der nachfolgenden Ausführungen sind immer Einzelteilzeichnungen für Werkzeugbestellungen und Formteilmfertigung. Dazu gehören auch Zeichnungen der Inserttechnik (Umspritz- und Umpressteile) und der Outserttechnik (Metallplattine mit Kunststoffteilegruppen). Alle Maße einer Fertigungszeichnung werden durch Abmaße toleriert, wobei Unterschiede durch Art der Toleranzangabe am Nennmaß bestehen (siehe Bild 11).



#### Maßlage:

$G_o$	Höchstmaß (Größtmaß)
$G_u$	Mindestmaß (Kleinstmaß)
$N$	Nennmaß

#### Maßstreuung:

$T$	Maßtoleranz
$A_{o,u}$	oberes oder unteres Abmaß
$GA$	symmetrisches Grenzabmaß

Bild 11: Toleranzfeldlagen: a) asymmetrische und b) symmetrische Tolerierung

#### 2.1.3.2 Indirekte Tolerierung durch Allgemeintoleranzen

Maße ohne Toleranzangabe am Nennmaß (Allgemeintoleranzen) werden durch Pauschalangaben von Toleranzgruppen oder -klassen in Zeichnungen festgelegt. Es handelt sich dabei immer um eine symmetrische Tolerierung mit Angaben von Grenzabmaßen ( $\pm GA$ ) am Mittenmaß. Sie gelten für alle Formteilmaße, für die keine herausgehobenen funktionswichtigen Maßhaltigkeitsforderungen erhoben werden. **Maße mit Allgemeintoleranzen für Kunststoff- und Gummiformteile sind keine Prüfmaße und daher auch keine Abnahmemäße.**

#### 2.1.3.3 Direkte Tolerierung durch Abmaßangabe am Nennmaß

Für Formteilmaße mit begründet hohen Maßhaltigkeitsanforderungen muss die Maßtoleranz durch Abmaße direkt in der Zeichnung angegeben werden. Dabei ist hinsichtlich der Lage der Maßbezugslinien zu beachten, dass es auch Prüfmaße (Kontrollmaße, Abnahmemäße mit vertraglicher Bindung) sind. Sie repräsentieren für den Formteilhersteller die formteilspezifisch höchsten Anforderungen an die erforderliche Fertigungsgenauigkeit.

Es ist wirtschaftlich rational, die Anzahl direkt tolerierter Maße möglichst gering zu halten. Die konkrete Anzahl wird von der Komplexität und Kompliziertheit der Formteile bestimmt. Als Orientierungswerte mögen aber 4 bis 6 Maße als übliche Obergrenze dienen. Formteile ohne direkt

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

tolerierte Maße sind keineswegs selten. Weiterhin sollte für direkt tolerierte Maße **ein einheitliches Genauigkeitsniveau mit einer Toleranzgruppe bzw. -klasse festgelegt** werden. Darauf beziehen sich dann entsprechende Allgemeintoleranzen.

Im Abschnitt 1.3 wurde begründet, dass die Werkzeugkonturen zur Einhaltung einer Formteiltoleranz unbedingt auf Toleranzmittenmaß gefertigt werden müssen. **Eine symmetrische Tolerierung ist damit gefordert und völlig unproblematisch realisierbar (Bild 11 b)**. Für Passmaße liegen je nach Passungssystem (Einheitswelle, Einheitsbohrung) und Passungsfunktion (Spiel, Übermaß) die Nennmaße außerhalb der Toleranzmitte (Bild 11 a) bzw. sogar außerhalb des zulässigen Istmaßbereiches eines der Passteile. Die Umrechnung auf Toleranzmittenmaße ( $N = C$ ) mit entsprechenden Grenzabmaßen ist für den Konstrukteur leicht durchführbar (Bild 11 b). Es ist damit nur eine formelle Nennmaßmodifizierung verbunden.

Gelegentlich wird das Vorhalten von Maßen durch Vorgabe von Konturwerkstoff (Stahl) an bestimmten Konturbereichen als Bedingung einer asymmetrischen Tolerierung angesehen. Dass solche Konturvorgaben nichts mit der Formteiltolerierung zu tun haben, wurde im Abschnitt 1.3 festgestellt und mit Vorschlägen für eine Kennzeichnung dieser Maßvorhaltungen verbunden.

#### 2.1.3.4 Besonderheiten der Form-, Lage- und Winkelabweichungen

Form-, Lage- und Winkelabweichungen gehören zu den geometrischen Toleranzen, die bei Kunststoff-Formteilen durch Verzug, in speziellen Abarten auch durch Verwindung oder Verwerfung entstehen. Sie sind für die Maßhaltigkeit vor allem auch dann entscheidend, wenn eine Überlagerung mit Längenmaßtoleranzen erfolgt. Allerdings wird aufgrund der geringen Formteilsteifigkeit das Problem oft dadurch entschärft, dass bei der Montage bzw. Komplettierung unterschiedlicher Formteile diese Abweichungen mit relativ geringem Aufwand durch „Drücken“ oder „Ziehen“ ausgeglichen werden (Motto: „Es zieht sich hin“): Im Idealfall wäre es wünschenswert, eine einheitliche Richtlinie oder Norm für alle geometrischen Toleranzen zu erarbeiten. Dieses Vorhaben ist zurzeit für Formteile nicht realisierbar. Im Abschnitt 2.3 werden physikalisch-technische Probleme erläutert, die eine Normierung der Form- und Lageabweichungen erschweren.

#### 2.1.3.5 Formteiloberflächenqualität

Aus Design- und Funktionsforderungen an das Formteil (Glätte, Glanz, Struktur) sowie an dessen Herstellbarkeit (Entformung, Nachbehandlung, Belagbildung) lassen sich entsprechende Qualitäten der formgebenden Werkzeugoberfläche ableiten, die als Orientierungsgrundlage dienen:

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

Konturoberflächenqualität	Bearbeitungszustand	Ra $\mu\text{m}$	$\approx$ Rz $\mu\text{m}$
technisch rau	ohne Feinbearbeitung	$\geq 3$	$\geq 12$
glatt	geglättet durch Feinbearbeitung (z. B. Schleifen)	0,8...1,6	3,2...6,3
glänzend	Grobpolitur	0,2...0,4	0,8...1,6
hochglänzend	Feinpolitur	0,05...0,1	0,2...0,4
spiegelnd (opt. Sonderqualität)	Feinstpolitur	0,012...0,025	0,05...0,1
strukturiert	nach Oberflächenvergleichsnormen (z. B. VDI 3400)		
Hinweis: Die Abstufung der Feinbearbeitungs- oder Poliergüte erfolgt durch Mittenrauwerte Ra bei Berücksichtigung von <b>DIN 16747 Rauheit der formgebenden Oberflächen von Presswerkzeugen und Spritzgießwerkzeugen für Kunststoff-Formmaschinen</b> . Als Orientierung wurden auch die mittleren Rauheiten Rz nach üblicher Abschätzung zugeordnet.			

Bei der Entscheidung zur Oberflächenqualität ist zu berücksichtigen, dass mit zunehmender Poliergüte die Kosten für Fertigung und Wartung der Werkzeuge deutlich ansteigen, während die Abbildungsgenauigkeit auf der Formteiloberfläche abnimmt. Kunststofftyp und Verarbeitungsbedingungen können ebenfalls die Abbildungsreproduzierbarkeit erheblich beeinflussen. Insbesondere die optische Sonderqualität (spiegelnde Oberfläche) sollte daher nur für transparente Kunststoffe bei speziellen Anforderungen (z. B. Linsen, Skalen, CD) vorgesehen werden. Mit Hartverchromung oder bei Galvano-einsätzen ist diese Oberflächengüte nur durch Nachpolitur erreichbar.

Vereinbarungen zur Werkzeugkonturoberfläche werden häufig mit Bezug auf Oberflächenvergleichsnormen (z. B. VDI 3400) getroffen. Die gilt insbesondere auch für strukturierte Oberflächen.

## 2.2 Maßbezugsebenen und Haupteinflussfaktoren auf die Formteilmaßhaltigkeit

Im Vergleich zu Metallwerkstoffen muss bei Kunststoffen mit erheblich größeren Maßstreuungen bei Fertigung und Anwendung gerechnet werden. Dieser ungünstige Sachverhalt ist in erster Linie den besonderen Eigenschaften der Kunststoffwerkstoffe geschuldet. Andererseits sind aufgrund des gleichen Eigenschaftsbildes (z. B. geringe Steifigkeit, große Verformbarkeit) die funktionalen Genauigkeitsforderungen häufig weitaus geringer als bei Metallen anzusetzen, sodass ausreichend maßhaltige Kunststoffkonstruktionen bei wirtschaftlicher Fertigung realisierbar sind.

### 2.2.1 Maßbezugsebenen

Maßhaltigkeitsnachweise müssen daher die **Maßebe-ne der Teileanwendung** und die **Maßebe-ne der Teilefertigung** unterscheiden, wobei für die Formteilmfertigung zusätzlich die **Maßebe-ne der Werkzeugfertigung** zu berücksichtigen ist. Für alle Maßebenen sind unterschiedliche physikalische Kausalitätsbeziehungen zu berücksichtigen und systematisch zusammenzuführen und der Konstruktionsentwurf ist dabei gedanklich entgegengesetzt zur Richtung der Maßentstehung zu bearbeiten. Eine solche Vorgehensweise zwingt zur funktionsorientierten Lösung von Maßhaltigkeitsproblemen.

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

Nachfolgend sind Maßgrößen und Maßbeziehungen zur Kennzeichnung der Lage, der Streuung und der Verschiebung von Längenmaßen (Maßtoleranzfelder) für die Maßebene der Teileanwendung bei **Anwendungsbedingungen (AWB)**, für die Maßebene der Teilefertigung bei **Abnahmebedingungen der Fertigung (ABF)** und für die Maßebene der Werkzeugkonturen bei **Abnahmebedingungen der Werkzeugfertigung (ABW)** angegeben.

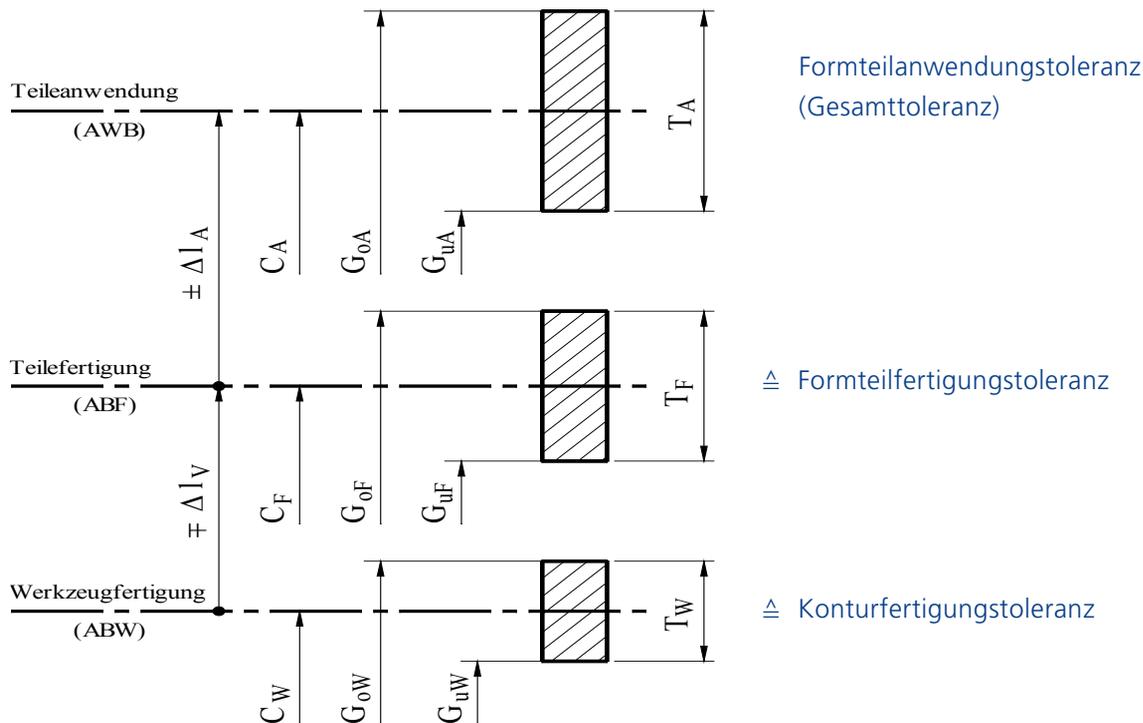


Bild 12: Maßebenen der Formteilanwendung und -fertigung

### Maßverschiebung:

- $\pm \Delta l_A$  anwendungsbedingte Maßverschiebung:  
Vergrößerung (+) oder Verkleinerung (-) des Mittenmaßes beim Übergang von ABF zu AWB
- $\mp \Delta l_v$  verarbeitungsbedingte Maßverschiebung:  
Verkleinerung (-) infolge Verarbeitungsschwindung und ggf. Vergrößerung (+) infolge Maßkorrekturen für Totpressflächen (Quetschflächen), losen Beilagen und Backen sowie für „negative“ Wärmedehnung extrem anisotroper Spezialkunststoffe (z. B. LCP). Im Regelfall handelt es sich um eine Maßverkleinerung beim Übergang von ABW zu ABF.

### Maßfixierung:

Fertigungsmaße und -toleranzen werden in Fertigungsdokumenten (Zeichnungen, Datensätze) eingetragen. Anwendungsmaße und -toleranzen werden meist nicht besonders fixiert, wobei dies in Sonderfällen zweckmäßig sein kann.

# Formteilentwicklung und Werkzeugbau

## Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

### 2.2.2 Abnahme- und Anwendungsbedingungen

Zur Abgrenzung der Maßebenen müssen die Abnahme- und Anwendungsbedingungen näher erläutert und definiert werden.

#### 2.2.2.1 Abnahmebedingungen der Werkzeugfertigung (ABW)

Die durch Prüfung ermittelten Kontrollmaße der Werkzeugkonturen gelten als Abnahmewerte bei einer Bezugstemperatur von  $23\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ . Sie schließen Härteverzug ein.

#### 2.2.2.2 Abnahmebedingungen der Teilefertigung (ABF)

**Für normative Abnahmebedingungen gelten die Kontrollmaße als Abnahmewerte nach TecPart-Richtlinie (siehe Abschnitt 3), DIN ISO 3302 und SN 277012, wenn die Formteile nach der Fertigung bis zur Abnahme bei  $23\text{ °C} \pm 2\text{ K}$  und  $50\% \pm 6\%$  relative Luftfeuchte gelagert sowie frühesten 16 h und spätestens 72 h nach Herstellung geprüft werden.**

Sofern von den üblichen (normierten) Abnahmebedingungen beim Teilehersteller abgewichen wird, müssen die Abnahmeparameter für die Kontrollmaßprüfung zwischen Hersteller und Abnehmer neu vereinbart werden:

- Maßprüfverfahren
- Minimal- und Maximalzeitraum der Maßprüfung nach der Teilefertigung
- Lagerungs- und Prüfbedingungen bis zur Teileabnahme (Raumlufthemperatur, relative Luftfeuchte, ggf. eine spezielle Lagerungsordnung)

Solche Abweichungen von den üblichen Abnahmebedingungen können sein:

- Folgeoperationen beim Teilehersteller mit Stoffauftrag (Lackieren, Beschichten) oder Stoffabtrag (Spanen, Schleifen, Polieren)
- Teilennachbehandlung durch Tempern (Vorwegnahme der Nachschwindung, Ausgleich innerer Spannungen, Nachhärten) oder Folgeoperationen mit deutlicher thermischer Teilebeanspruchung (Lackieren, Lötbadbehandlung u. a.)
- Teilennachbehandlung durch Konditionieren, z. B. durch Wässern (Vorwegnahme der Quellung, Zähigkeitserhöhung)
- Geringe Maßstabilität von Struktur und Zustand des Formstoffs bei ABF.  
Beispiele sind Strukturveränderungen der kristallinen Phase teilkristalliner Polymere (z. B. PB-1) und Quellung sowie Weichmachung infolge Wasseraufnahme dünnwandiger Formteile (unter 2 mm) aus hydrophilen Polymeren (z. B. PA6, PA66, PA46; Biopolymere)

Alle vorgenannten Sonderbedingungen sollten durch Formteilerprobung und entsprechenden Liefervereinbarungen mit dem Teileabnehmer hinreichend berücksichtigt werden, sodass kein unzumutbares Risiko für den Teilehersteller besteht. Unklarheiten bei Maßprüfungsbedingungen gehen ungerechtfertigter Weise fast immer zu Lasten des Formteilherstellers.

# Formteilentwicklung und Werkzeugbau

## Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

### 2.2.2.3 Anwendungsbedingungen (AWB)

Nutzungs- und Lagerungsbedingungen der Teile während des Anwendungszeitraumes, sofern sich diese auf die Maßhaltigkeit und Funktionserfüllung bei der Erzeugnisanwendung auswirken. Für weiche oder gummiartige Formstoffe kann der Einfluss der AWB relativ häufig vernachlässigt werden. Sie sind für jeden Einzelfall situations- und funktionsabhängig zu bestimmen.

Verursachungsfaktoren der Maßänderung sind:

- Klimaeinwirkungen durch Umgebungstemperaturen, Luftfeuchtigkeit; Niederschläge und Sonneneinstrahlung
- Nutzungsbedingte Energieeinwirkungen durch Wärmequellen und energiereiche Strahlung
- Diffusionskontakt mit Dämpfen und Flüssigkeiten sowie Migrationskontakt mit Feststoffen
- Werkstoffabtrag (Verschleiß) durch Reibung, Kavitation und Erosion
- Mechanische Deformation durch äußere Kräfte und Momente
- Molekulare und mikromorphologische Stoffstrukturumwandlungen

Alle Faktoren können bezüglich Intensität und Zeitdauer sehr variabel wirksam werden, wobei die verursachten Maßänderungen irreversibel (Alterung) oder reversibel sind. Erfolgt Montage bzw. Komplettierung von Einzelteilen zu Baugruppen erst in längeren Zeiträumen nach der Teilefertigung, so sind die Teilelagerungs- und Komplettierungsbedingungen als Sonderfall der Anwendungsbedingungen zu behandeln.

**Anwendungsbedingte Maßverschiebungen** resultieren aus den Anwendungsbedingungen als situationsabhängige Überlagerung verschiedener Einzeleinflüsse mit unterschiedlichen Zeitverläufen. Anisotropieeffekte können dabei von erheblicher Bedeutung sein.

- **Wärmedehnung und -kontraktion:** Durch Temperaturänderung verursachte Maßänderung, die sich mit geringer zeitlicher Verzögerung zur Temperaturänderung der Teile einstellt und daher immer zu berücksichtigen ist.
- **Nachschwindung und/oder Quellung:** Durch molekulare und mikromorphologische Strukturänderungsprozesse sowie durch Diffusions- und Migrationsprozesse verursachte Maßänderung, die sich mit großer zeitlicher Verzögerung zur Veränderung der jeweiligen Wirkungsfaktoren einstellt und daher als komplexe Größe situations- und zeitabhängig zu berücksichtigen ist. **Nachschwindung** entsteht durch molekulare Nahordnungseffekte (z. B. Nachkristallisation, Rückstellung von Molekülorientierungen), durch chemische Reaktionen (z. B. Nachhärtung), durch Abgabe flüchtiger Bestandteile bzw. Austrocknung (z. B. Wasser, Kondensationsprodukte, Löse- und Verdünnungsmittel, Weichmacher) durch Auswandern flüssiger und fester Bestandteile (z. B. Weichmachermigration, Auskriechen) sowie durch Relaxation (Ausgleich) elastischer Spannungen bzw. Verformungen. **Quellung** wird durch Medienaufnahme, insbesondere auch Wasseraufnahme verursacht.

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

- **Verschleiß:** Durch Werkstoffabtrag (Abrasion) verursachte Maßänderung, die abhängig von Art, Größe und Dauer der Verschleißbeanspruchung (Reibung, Kavitation, Erosion) zu berücksichtigen ist.
- **Mechanische Deformation:** Durch äußere Kräfte und/oder Momente bewirkte Teileverformung als Dehnung und/oder Stauchung.

#### **Beispiel zum Einfluss der Anwendungsbedingungen auf die Formteilmaßhaltigkeit:**

*Ein Bezugsmaß von 100 mm soll bei AWB für ein Stahlteil und für ein Spritzgussteil aus PE-HD bezüglich einer anwendungsbedingten Temperaturschwankung zwischen 23 °C und 80 °C verglichen werden. Das Stahlteil würde sein Maß um 0,07 mm und das PE-HD-Teil um ca. 1,4 mm ändern. Wollte man diese Teile mit dem Grundtoleranzgrad IT11 ( $T = 0,22$  mm) herstellen, wäre das für Stahl eine sehr grobe und einfach zu realisierende Maßgenauigkeit bei spanender Bearbeitung. Für das Spritzgießen des PE-HD-Teils müsste hingegen ein erheblicher Aufwand betrieben werden (Präzisionsfertigung).*

*Man stelle sich vor, der Einfluss der AWB auf das Bezugsmaß wurde nicht beachtet und Abnehmer sowie Hersteller des Spritzgussformteils streiten sich darüber, ob IT11 ( $T = 0,22$  mm) oder IT12 ( $T = 0,35$  mm) die angemessene Fertigungsgenauigkeit wäre. Solche und ähnliche unprofessionelle Situationen führen allzu häufig zu kostenaufwendigen Werkzeugänderungen und Rechtsstreitigkeiten.*

Es ist daher für die Formteilentwicklung meist unabdingbar, die Fertigungsmaße aus den Anwendungsmaßen zurückzurechnen, sofern keine experimentellen Untersuchungen möglich sind oder praktische Erfahrungen vorliegen. Die Darstellung dieses Problemkreises mit allen Details ist in den vorliegenden Branchenrichtlinien nicht vorgesehen. Zur praktischen Rückrechnung der Anwendungsmaße auf Fertigungsmaße ist eine Vielzahl von Daten und Informationen erforderlich. Leider sind solche Daten häufig „geheimes“ Erfahrungswissen (neudeutsch: Know-how) der beteiligten Kooperationspartner.

### 2.2.3 Ursachen und Einflussfaktoren für Maß-, Gestalt- und Lageabweichungen

#### 2.2.3.1 Maßabweichungen

**Hauptursachen** für die Maßstreuung bei der Formteilmontage sind:

- Formmasse- und verarbeitungsbedingte Streuung der Verarbeitungsschwindung
- Unsicherheiten bei der Festlegung von Rechenwerten der Verarbeitungsschwindung zur Werkzeugkonturberechnung, insbesondere bei großen Schwindungswerten und bei Schwindungsanisotropie
- Unterschiedliches Rückverformungsverhalten der Teile nach der Entformung, abhängig von der Formstoffsteifigkeit
- Herstellungsbedingte Maßstreuungen der Werkzeugkonturen
- Verformungen u. Lageabweichungen von Werkzeugteilen infolge Druckbeanspruchung

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

- Werkzeugkonturverschleiß
- Unterschiedlicher sächlicher und personeller Aufwand zur Erreichung und Stabilisierung der Fertigungsgenauigkeit

Bei der **Auswahl** der jeweils realisierbaren Fertigungstoleranzen nach aktuellen Normen müssen die Einflussfaktoren konkretisiert und ggf. quantifiziert werden, um zuverlässige Zuordnungen zu ermöglichen:

- Die maßrelevanten Formmasseeigenschaften **Verarbeitungsschwindigkeit und Schwindungsanisotropie** werden wegen ihrer besonderen Bedeutung in Abschnitt 2.3 gesondert behandelt.
- Die Fertigungsgenauigkeit ist wesentlich auch von **Steifigkeit bzw. Härte des Formstoffes** beim Entformungsvorgang abhängig. Für die spanende Bearbeitung ist dies unmittelbar einsichtig, trifft aber auch für die Formteilmontage zu. Größere Steifigkeit verringert Wärmeausdehnung und -kontraktion und reduziert elastische Rückverformungen infolge der Druckbeanspruchung beim Fertigungsvorgang. Allen diesbezüglichen Bewertungen genügt ein vierstufiges Klassifizierungsschema:

Steifigkeit bzw. Härte		Bewertung
E-Modul:	über 1200 N/mm <sup>2</sup>	hart
E-Modul:	30 bis 1200 N/mm <sup>2</sup>	halbhart
Shore D:	40 bis 75	
Shore A bzw. IRHD:	50 bis 90	weich
Shore A bzw. IRHD:	unter 50	extrem weich
Hinweis: Quantifiziert durch den Ursprungs-E-Modul aus dem zügigen Normzug- oder Normbiegeversuch sowie durch die Shoreeindringhärte nach DIN EN ISO 868 (Verfahren A und D) oder durch die Kugeldruckhärte für Elastomere und thermoplastische Elastomere nach DIN ISO 48 (Internationaler Gummi Härtegrad IRHD). Alle Prüfungen beziehen sich auf 23 °C und normal konditionierte Prüfkörper.		

- Die Verknüpfung der Ebenen der Fertigungstoleranz (ABF) mit der Ebene der Werkzeugkonturfertigung (ABW) ist möglich, indem generell **25 % der Formteilmontagestoleranz für den Werkzeugbau als Konturtoleranz vorgegeben werden**.
- Unterschiedliche Verformungen und Lageabweichungen von Werkzeugteilen bei Druckbeanspruchung werden durch die **Differenzierung von werkzeuggebundenen und nicht werkzeuggebundenen Formteilmaßen** erfasst, da die Art der Werkzeugkonturfixierung unterschiedliche Genauigkeitsgrade verkörpert. Werkzeuggebundene Maße sind Maße im gleichen Werkzeugteil, während nicht werkzeuggebundene Maße durch das Zusammenwirken unterschiedlicher Werkzeugteile entstehen und dadurch tendenziell größere Maßstreuungen bewirken (Bild 13 und 14).

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

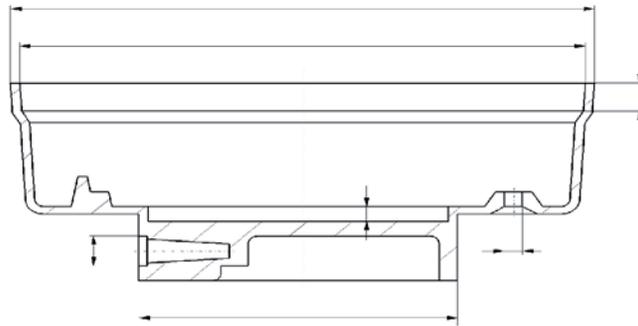


Bild 13: Werkzeuggebundene Maße

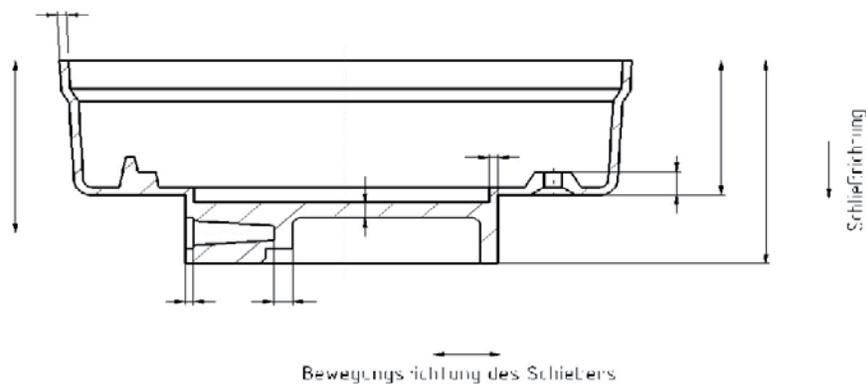


Bild 14: Nicht werkzeuggebundene Maße

- Der **Fertigungsaufwand des Formteilherstellers** ist zweifellos der **Hauptinflussfaktor für die Garantie einer bestimmten Fertigungsgenauigkeit**. Unter Fertigungsaufwand ist hierbei der gesamte sächliche und personelle Aufwand für die Fertigungsvorbereitung, Fertigungsdurchführung und Qualitätssicherung zu verstehen. Zur Klassifizierung und Differenzierung des Fertigungsaufwandes halten wir nachfolgende **Fertigungs- und Aufwandsreihen** für erforderlich:

<b>Reihe 0 (Allgemeintoleranzen):</b>	Fertigung für Formteilmaße ohne direkte Toleranzangabe am Nennmaß
<b>Reihe 1 (Normalfertigung):</b>	Fertigung realisiert Maßhaltigkeitsforderungen, die keinen besonderen Qualitätsschwerpunkt bilden.
<b>Reihe 2 (Genaufertigung):</b>	Fertigung ist auf höhere Maßhaltigkeitsforderungen orientiert.
<b>Reihe 3 (Präzisionsfertigung):</b>	Vollständige Ausrichtung der Fertigung auf die sehr hohen Maßhaltigkeitsforderungen
<b>Reihe 4 (Präzisionssonderfertigung):</b>	Wie Reihe 3, aber mit intensivierter Prozessüberwachung

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

In diesem Zusammenhang muss wegen seiner besonderen Bedeutung der teilweise inflationär gebrauchte Begriff **Präzisionsfertigung** richtig eingeordnet werden. Im Gegensatz einiger landläufiger Begriffsverständnisse leiten wir die Präzisionsfertigung nicht aus der absoluten Kleinheit einer Toleranz her (wie z. B. in SN 277012), sondern aus dem mobilisierten Aufwand für eine maßgenaue Fertigung. So gesehen kann eine Toleranz von 0,5 mm für ein Elastomer-Spritzgußteil Präzision bedeuten und für ein gleichgroßes ABS-Spritzgußteil Schluderei.

Die konkrete Einstufung der Aufwandsreihen bei Nichterfüllung bzw. bedingter Erfüllung einzelner Merkmale erfordert eine entsprechende Abstimmung zwischen Formteilabnehmer und Formteilhersteller, insbesondere bei hohen Maßhaltigkeitsforderungen. Einerseits wird der Formteilhersteller nach Maßgabe des Fertigungsaufwandes bei hohen Maßhaltigkeitsforderungen erhöhte Herstellkosten geltend machen, andererseits der Formteilabnehmer eine hinreichende Qualitätsgarantie erwarten.

#### 2.2.3.2 Form-, Lage- und Winkelabweichungen

Form-, Lage- und Winkelabweichungen an Formteilen entstehen durch Verzug, ggf. auch durch Verwindung und Verwerfung. **Hauptursache** sind richtungsabhängige Unterschiede der Verarbeitungsschwindung, auch als Schwindungsanisotropie bezeichnet. Die Schwindungsunterschiede erzeugen einen Druckverformungszustand, der in Sinne der Mechanik zu Instabilitäten (Knicken, Beulen, Kippen) einzelner Formteilelemente führen kann, wobei die mechanisch verbundenen Nachbarzonen je nach Kopplungsgrad und Steifigkeit auch verformt werden können.

Schwindungsanisotropie entsteht durch **Molekül- und Zusatzstofforientierung** infolge Scher- und Dehnströmungen bei Fließvorgängen der Schmelze im Werkzeug mit anschließender Erstarrung. Beim Spritzgießen kann weiterhin das „Überladen“ durch unzulässig hohen Nachdruck zu großen energieelastischen Eigenspannungen führen, nach deren Ausgleich (Relaxation) Formteilverzug auftreten kann.

Nähere Erläuterungen zur Schwindungsanisotropie sind im Abschnitt 2.3 enthalten.

#### 2.3. Verarbeitungsschwindung und Schwindungsanisotropie

Einflüsse auf die Fertigungsgenauigkeit werden hauptsächlich auf folgenden Ebenen wirksam:

- Anwendung eines zutreffenden Rechenwertes der Verarbeitungsschwindung
- Begrenzung der Schwindungsstreuung durch optimierte Verarbeitungsbedingungen
- Reduzierung des Formteilverzugs durch optimierte Formteilgestaltung bei möglichst geringer Schwindungsanisotropie
- Einsatz von Formmassen mit isotroper Charakteristik

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

#### 2.3.1 Grundlagen und Begriffsdefinitionen zur Verarbeitungsschwindung und Schwindungsanisotropie

Die Schwindung beruht auf einer Dichtezunahme der Formstoffe, wofür folgende Faktoren maßgebend sind:

- Thermische Kontraktion und Kompressibilität
- Mikromorphologische Strukturordnungsprozesse (z. B. Kristallisation, Gelierung)
- Chemische Reaktionen (z. B. Härtung, Vulkanisation)
- Stoffliche Modifizierung durch Zusatzstoffe

Aufgrund unvermeidlicher und unterschiedlicher Schwindungsbehinderungen bei der Formgebung in geschlossenen Werkzeugen ist die Aufteilung der **Volumenschwindung ( $S_V$ )** in drei lineare Schwindungen auch dann ungleichgewichtig, wenn die Anisotropie unberücksichtigt bleibt:

- Dickenschwindung :  $S_s \approx 0,9 S_V$
- Längsschwindung:  $S_L \approx 0,05 S_V$
- Breitenschwindung:  $S_B \approx 0,05 S_V$

Für die Bemaßung der Werkzeugkonturen werden Längs- und Breitenschwindung als **Verarbeitungsschwindung (VS)** benötigt. Die Verarbeitungsschwindung VS ist die relative Differenz zwischen Werkzeugkonturmaßen ( $L_W$ ) bei  $23 \text{ °C} \pm 2 \text{ K}$  und den entsprechenden Formteilmaßen ( $L_F$ ) 16 h nach der Fertigung, gelagert bis zur Messung bei  $23 \text{ °C} \pm 2 \text{ K}$  und  $50 \pm 6 \text{ %}$  relative Luftfeuchte.

$$VS = 1 - \frac{L_F}{L_W} \cdot 100 \text{ %} @$$

Die Verarbeitungsschwindung für Thermoplaste und thermoplastische Elastomere wird nach ISO 294-4 und für Duroplaste nach ISO 2577 bestimmt.

**Ergänzende Begriffe** zur Verarbeitungsschwindung sind nachfolgend zusammengestellt:

Kurzzeichen	Erläuterungen
$VS_{  }$ ; $VS_{\perp}$	VS parallel (  ) bzw. senkrecht ( $\perp$ ) zur Schmelzefließrichtung
$\Delta VS =  VS_{\perp} - VS_{  } $	Absolutwert der Schwindungsdifferenz infolge scherungs- und dehnungsbedingter Anisotropie
$VS_{\max}$ ; $VS_{\min}$	Extremwerte der VS durch Variation der Verarbeitungsbedingungen und durch Schwindungsschwankungen der Formmasschargen. Anisotropieeffekte sind nicht berücksichtigt.
$VS_R = 0,5 (VS_{\max} + VS_{\min})$	Rechenwert der VS im erwarteten Streubereich
$\Delta S = VS_{\max} - VS_{\min}$	Streubereich der VS infolge verarbeitungs- und chargen-bedingter Schwindungsschwankungen

# Formteilentwicklung und Werkzeugbau

## Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

### 2.3.2 Ursachen und Einflussfaktoren auf die Verarbeitungsschwindigkeit nichtporöser Kunststoffe

Ausgehend von den physikalischen Ursachen sind nachstehend die Einflusstendenzen auf die Verarbeitungsschwindigkeit zusammengestellt:

Ursachen	Einfluss auf Verarbeitungsschwindigkeit	
	verringern	erhöhen
Dichtezunahme infolge thermischer Kontraktion durch Abkühlung von Entform- auf Raumtemperatur und der Verdichtung durch Druckeinwirkung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hoher wirksamer Druck auf Formmasse und Kontur bis zum Entformen (Nachdruck)</li> <li>• geringe Entformungstemperatur (lange Kühlzeit u./o. geringe Konturtemperatur)</li> <li>• geringer Wärmeausdehnungskoeffizient (hartelastische Polymere)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringer bzw. vorzeitig zurück genommener Nachdruck bis zum Entformen</li> <li>• hohe Entformungstemperatur (kurze Kühlzeit u./o. hohe Konturtemperatur)</li> <li>• großer Wärmeausdehnungskoeffizient (weich- bzw. gummielastische Polymere)</li> </ul>
Dichtezunahme infolge thermodynamisch bedingter Strukturordnungsprozesse (Kristallisation; Gelierung)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• amorphe Polymere</li> <li>• geringer Kristallinitätsgrad teilkristalliner Polymere durch schnelles Erstarren (Unterkühlung infolge geringer Konturtemperatur u./o. dünnwandiger Teile)</li> <li>• hoher Geliertgrad weichmacherhaltiger Polymere</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• teilkristalline Polymere</li> <li>• hoher Kristallinitätsgrad durch langsames Erstarren hohe Konturtemperatur u./o. dickwandige Teile) sowie durch verbesserte Keimbildung (Nukleierungszusätze)</li> <li>• geringer Geliertgrad weichmacherhaltiger Polymere</li> </ul>
Dichtezunahme infolge molekularer Aufbau- und Vernetzungsprozesse (Härtung; Vulkanisation; Polyreaktion)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hoher Vernetzungsgrad und dadurch geringerer Wärmeausdehnungskoeffizient (lange Härte- bzw. Vulkanisationszeit u./o. hohe Massetemperatur)</li> <li>• stofflich weitgehend vorgebildete bzw. vorvernetzte Formmassen (z. B. Prepolymere)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringer Vernetzungsgrad und dadurch höherer Wärmeausdehnungskoeffizient (kurze Härte- bzw. Vulkanisationszeit u./o. geringe Massetemperatur)</li> <li>• unvernetzte Vorprodukte (Oligomere) bzw. Monomere als Formmassen</li> </ul>
Steifigkeits- bzw. Härteveränderung durch Zusatzstoffe (z. B. Füll- und Verstärkungsstoffe; Weichmacher)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zusatzstoffe mit geringem Wärmeausdehnungskoeffizient (z. B. anorganische Füll- u. Verstärkungsstoffe)</li> <li>• keine bzw. geringe Weichmacherzusätze</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zusatzstoffe mit hohem Wärmeausdehnungskoeffizient (z. B. organische Füll- u. Verstärkungsstoffe)</li> <li>• Weichmacherzusätze</li> </ul>

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

#### 2.3.3 Rechenwerte der Verarbeitungsschwindung und Schwindungstreue

Durch Auswertung zahlreicher Schwindungsmessungen unterschiedlicher Herkunft konnte relativ unabhängig vom Polymertyp (Duroplaste, Thermoplaste, Gummi) und vom Verarbeitungsverfahren (Spritzgießen, Pressen) für den maximalen Streubereich der Verarbeitungsschwindung infolge verarbeitungs- und chargenbedingter Schwindungsschwankungen ohne Berücksichtigung der Schwindungsanisotropie folgende Näherungsrelation festgestellt werden:

$$\Delta S_{\max} \approx 0,6 V S_R$$

Aus dieser Relation ist ableitbar, dass die fertigungsbedingten Schwindungstreues sowohl von der Größe des Rechenwertes der Verarbeitungsschwindung als auch von dessen Schwankungsbreite abhängen.

**Rechenwerte der Verarbeitungsschwindung sind Vorgaben für Konstruktion, Bau und Erprobung der Werkzeuge.** Diese Vorgaben werden vom Kunststoffverarbeiter erwartet, da dieser die Schwindung durch die Verarbeitungsbedingungen aktiv beeinflussen kann und im Regelfall über entsprechende Erfahrungen verfügt. Im Zweifelsfall können Abmusterungen mit ähnlichen Werkzeugen die Rechenwerte der Verarbeitungsschwindung präzisieren.

Computergestützte Verzugs- und Schwindungsberechnungsmodule sind Bestandteil moderner Verarbeitungssimulationssoftware, zu deren Zuverlässigkeit aber widerstreitende Meinungen bestehen. Sollte die Vorhersagesicherheit etwa den Stand der volumetrischen Werkzeugfüllung erreichen, wäre die automatische Werkzeugkonturkonstruktion ein realistisches Ziel. Derzeit ist aber noch die konventionelle Methode maßgebend. Bei der Festlegung der Rechenwerte für die Verarbeitungsschwindung muss die Schwindungsanisotropie beachtet werden. Diese Tatsache kompliziert die Entscheidungen, da damit gleichzeitig auf die Überlagerung von Maßtoleranzen mit Form-, Lage- und Winkelabweichungen Bezug genommen wird.

#### 2.3.4 Ursachen und Einflussfaktoren auf Schwindungsanisotropie und Formteilverzug

Nachstehend sind abhängig von physikalischen Ursachen die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Schwindungsanisotropie benannt:

Ursachen der Schwindungsanisotropie	Einflussfaktoren
<b>Schwindungsbehinderung</b> infolge unterschiedlicher thermischer Kontraktion durch erstarrte Randschichten, Materialanhäufungen und örtlich unterschiedliche Werkzeugkonturtemperaturen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Werkzeugtemperierung, insbesondere Homogenität des Konturtemperaturfeldes</li> <li>• Formteilgestaltung, insbesondere Wanddickenverteilung, Radien- und Rippengestaltung</li> </ul>
<b>Schwindungsunterschiede</b> durch anisotrope (orthogonale, unidirektionale) Verstärkungsstoffe (z. B. Gewebe, Gewirke, Rovings)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Art und Konstruktion der textilen Gebilde</li> <li>• Wärmeausdehnungskoeffizient der Fasern</li> <li>• Anordnung und Verteilung im Formstoff</li> </ul>

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

<p><b>Orientierung</b> von Füll- und Verstärkungsstoffen, Molekülen und morphologischen Strukturen durch Fließvorgänge infolge Scher- u. Dehnströmungen</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unterschiede im Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen Füll- und Verstärkungsstoffen und der Polymermatrix</li> <li>• Geometrische Struktur der orientierten Partikel</li> <li>• Erstarrungs- und Erweichungsgeschwindigkeit der Formmasse</li> <li>• Fließgeschwindigkeit der Formmasse</li> <li>• Fließquerschnittsgeometrie (Länge, Größe, Gestalt)</li> </ul>
<p><b>Inhomogenitäten</b> durch lokale Entmischung von Polymerschmelze und grobstrukturierten Füll- und Verstärkungsstoffen (Schnitzel, Stränge, Bänder) infolge Fließwegverengungen und -umlenkungen</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Struktur der Füll- u. Verstärkungsstoffe u. Unterschiede zum Wärmeausdehnungskoeffizienten der Polymermatrix</li> <li>• Gestalt und Anzahl der Fließwegverengungen und -umlenkungen</li> <li>• Fließ- und Erstarrungsverhalten der Formmasse</li> </ul>

Schwindungsanisotropie ist nicht vollständig vermeidbar, lässt sich aber in der Auswirkung eingrenzen durch **optimierte und prozessstabile Verarbeitungsbedingungen** und / oder durch **Anwendung richtungsdifferenzierter Schwindungskennwerte**, die aus experimentellen Erfahrungen oder computergestützten Schwindungsvoraussagen ableitbar sind.

Für Polymere ohne Zusatzstoffe ist die Schwindungsanisotropie im Wesentlichen eine Folge der **Molekülorientierung**:

- **Duroplaste:** Geringe Molmasse der Harzvorprodukte und engmaschige Vernetzung schließen Molekülorientierung beim Fließvorgang aus.
- **Gummi:** Molekülorientierung wenig ausgeprägt (weitmaschige Vernetzung). Wegen geringer Eigensteifigkeit keine größere Verzugsneigung durch bleibende Formänderungen.
- **Thermoplaste und thermoplastische Elastomere:** Beim Fließvorgang entstehen mehr oder weniger ausgeprägte Molekülorientierungen, die durch kristalline Strukturen noch verstärkt werden können. Verzugsneigung ist bei harten Formstoffen größer als bei weichen bzw. gummiartigen Kunststoffen mit geringer Eigensteifigkeit.
- **LCP (Liquid Crystal Polymer):** Wegen der starren Moleküle sind LCP extrem leicht zu anisotropen Strukturen orientierbar. Diese Art der Molekülverstreckung hat zur Bezeichnung der „selbstverstärkenden Polymeren“ geführt. Anisotropie ist bei Fließvorgängen mit LCP-Formmassen in der Regel nicht vermeidbar.

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

Bei Polymeren mit Zusatzstoffen erzeugen vor allem faserförmige Verstärkungsstoffe große Schwindungsanisotropie. Für **kurzglasfaserverstärkte Formmassen** ist folgender Anisotropieeffekt üblich:

$$VS_{||} = (0,4 \dots 0,6) VS_{\perp}$$

Für **langglasfaserverstärkte Formmassen** (in der Regel 5 bis 25 mm Faserlänge) ist hingegen folgender Anisotropieeffekt üblich:

$$VS_{||} = (0,7 \dots 0,9) VS_{\perp}$$

Die Schwindungsdifferenz ist auslösende Ursache des Formteilverzugs, sofern die Formteilgeometrie kritische Werte annimmt:

$\Delta VS =  VS_{\perp} - VS_{  } $	Verzugsgefahr
unter 0,1 %	gering
0,1 % bis 0,3 %	beachtenswert
über 0,3 %	groß

Insbesondere dünne Formteile mit langen Fließwegen und komplexer Formteilgestalt sind stärker verzugsgefährdet und erfordern daher größere Form- und Lagetoleranzen.

In nachfolgenden Normen sind Form- und Lagetoleranzen festgelegt:

Norm	Bemerkungen
DIN EN ISO 1101	Definitionen, Symbole, Zeichnungseintragungen
DIN ISO 2768-2	Werkstattübliche Abweichungen für Metallbearbeitung. Für Kunststoff-Formteile nicht geeignet.
DIN ISO 3302-2	Gummifertigteile als Formteile, Mehrschichtenteile, Extrusionsteile. Auch empfohlen für thermoplastische Elastomere.
DIN 16941	Gültig für Form- und Lageabweichungen extrudierter Profile aus harten (steifen) Thermoplasten, da bei weichen Thermoplasten keine bleibenden Formänderungen auftreten.

Gegenüberstellung relativer Geradheits- und Ebenheitstoleranzen (in %):

Nennmaß in mm	10			100			1000		
	fein	mittel	grob	fein	mittel	grob	fein	mittel	grob
DIN ISO 2768-2	0,2	0,5	1	0,1	0,2	0,4	0,03	0,06	0,12
DIN ISO 3302-2	1	1,5	2,5	0,25	0,4	0,7	0,3	0,5	0,8
DIN 16941	3	4	5	0,8	1	1,4	0,8	1,1	1,8

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

Neben deutlich unterschiedlicher Nennmaßabhängigkeit ist vor allem der Problemschwerpunkt der Normierung von Form- und Lagetoleranzen für harte bzw. steife Kunststoffe auszumachen, da bei diesen mit erheblich größeren Form- und Lageabweichungen gerechnet werden muss. Es ist daher nicht verwunderlich, dass zurzeit für Kunststoff-Formteile entsprechende Normen fehlen. Für spezielle Formteile (z. B. Maschinen- und Geräteelemente) existiert betriebliches Know-how, das aber nicht als befriedigende Lösung des Problems angesehen werden kann.

Eine eventuelle Normung von Winkel-, Form- und Lagetoleranzen muss die vielfältigen Einflüsse in eine überschaubare Struktur einbinden. Neben Praxisversuchen könnten Computersimulationen mit verbesserter Software zur Verzugsvoraussage hilfreich sein.

**Bis zu einer befriedigenden Lösung muss also auf systematische (nicht chaotische) Formteilversuche vor einer Serienfertigung zurückgegriffen werden. Bei der Formteilkonstruktion sind Gestaltungshinweise zur Reduzierung der Schwindungsanisotropie konsequent zu beachten.**

### 3 Längenmaßtolerierung von Kunststoff-Formteilen (Normvorschlag)

#### 3.1 Konzeption

Die DIN 16901 wird heute weder dem Entwicklungsstand der Formteilmontage- und Fertigungstechnik noch den Maßhaltigkeitsforderungen der Praxis gerecht. Es sei auch erwähnt, dass diese Norm bereits vor ihrer Herausgabe Gegenstand kontroverser Diskussionen war. Die DIN 16901, wie auch ihre Vorgängernorm DIN 7710, leiten die Berechtigung eines speziellen Maßtoleranzsystems für Kunststoff-Formteile aus folgender Behauptung in der Einleitung zur Norm ab:

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

Tatsächlich liegen den Verfassern keine Quellen oder Informationen vor, die diesen Sachverhalt als Ergebnis systematischer Untersuchungen hinreichend untermauern könnten. Eine Nachfrage beim Normenausschuss Kunststoffe (FNK) ergab, dass diesbezüglich keine Unterlagen verfügbar sind. Zur Einführung des so genannten „Einheitssystems Toleranzen und Passungen für Plastformteile“ wurden von 1968 bis 1975 in der DDR umfangreiche Messreihen der Kunststoffverarbeitungsbetriebe ausgewertet, die keineswegs so gravierende Abweichungen vom ISO-Toleranzsystem ergaben, wie sie nach DIN 16901 zu erwarten wären.

Selbst wenn man merkliche Unterschiede im „Toleranzwachstumsgesetz“ der Kunststoff-Formteilmontage im Vergleich zum ISO-Toleranzsystem akzeptiert, muss dies keineswegs zu einem besonderen Toleranzsystem für Kunststoffteile führen, da mit einer **maßbereichsabhängigen Zuordnung der ISO-Grundtoleranzen** eine hinreichende Anpassung mit folgenden Vorteilen zu erzielen ist:

- Gültigkeit des vorhandenen ISO-Passungssystem hinsichtlich der Bildungsgesetze von Passungen, auch wenn die Auswahlpassungen der Metallbranche überwiegend nicht verwertbar sind.

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

- Bessere Verständigungsmöglichkeiten mit Entwicklern und Konstrukteuren aller technischen Fachrichtungen, deren Wissensstand sich traditionell auf das ISO-Toleranzsystem bezieht.
- Berücksichtigung der Tendenz, dass die moderne Fertigungstechnik insbesondere bei größeren Maßen kleinere Toleranzen ermöglicht.
- Konzentration auf die wirklich wichtigen Besonderheiten der Maßhaltigkeitsproblematik von Kunststoff-Formteilen.

Die in DIN 16901 angegebenen Toleranzgruppen und Toleranzreihen (Aufwandsreihen) entsprechen nicht mehr den Möglichkeiten moderner Fertigungs- und Qualitätssicherungstechnik und der allgemeinen Akzeptanz. Weiterhin ist die Genauigkeitsgradzuordnung zu stark formstofforientiert und erfordert zudem permanente Normergänzungen bei Veränderung der Formstofftypenliste. Die schweizerische Norm SN 277012 verbessert die DIN 16901 durch eine zusätzliche Präzisionstoleranzgruppe und durch zwei neue Aufwandsreihen. Damit ist in quantitativer Hinsicht etwa das erforderliche Niveau einer aktuellen Toleranznorm erreicht. Die Unbestimmtheit der Zuordnung des erforderlichen Fertigungsaufwandes sowie die prinzipiellen Nachteile einer Formstofftypenliste bleiben erhalten.

Weitere Schwachstellen der DIN 16901 und SN 277012 sind die maßbereichsunabhängigen Toleranzzuschläge für nicht werkzeuggebundene Maße. Diese sind zumindest für sehr kleine und sehr große Maße inakzeptabel, wobei die geringe Variabilität zwischen den Toleranzgruppen diesen Nachteil noch vertieft. Messungen und Meinungen aus der Fachliteratur lassen den Schluss zu, dass eine 10 bis 20 %-ige Erhöhung der Maßtoleranzen für nicht werkzeuggebundene Maße ausreichend ist. Dies wird im nachfolgenden Normvorschlag durch die Wahl einer nächsthöheren Nennmaßbereichsstufe erreicht.

### 3.2 Maßgebende Tolerierungsgrundsätze

- Gegenstand des Normvorschlages dieser Richtlinie sind **Fertigungstoleranzen für Längenmaße**. Durch Formteilverzug verursachte Winkel-, Form- und Lageabweichungen sind damit ausdrücklich nicht erfasst. Für sie gilt das Unabhängigkeitsprinzip nach ISO 8015. Für Kunststoff-Formteile existieren zurzeit keine verbindlichen Normen für Winkel-, Form- und Lagetoleranzen.
- Entformungsschrägen sind Konstruktionsvorgaben, deren **Neigungsmaßdifferenz nicht als Bestandteil der Maßtoleranz anzusehen ist**.
- **Der Formteilentwickler legt** unter Beachtung der Anwendungsbedingungen das erforderliche Formteilmittenmaß und **die funktional erforderliche Fertigungstoleranz fest**, wobei immer von symmetrischer Toleranzfeldlage auszugehen ist. Bei Passteilen muss eine entsprechende Umrechnung erfolgen.
- Vom Formteilentwickler erfolgt u. U. durch Abstimmung mit dem Hersteller die Überprüfung folgender Relation:

**Erforderliche Fertigungstoleranz  $\geq$  Mögliche Fertigungstoleranz?**

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

**Die mögliche Fertigungstoleranz als Gegenstand des Normvorschlages repräsentiert die fertigungstechnische Möglichkeit des Formteilherstellers.** Sofern die vorstehende Relation erfüllbar ist, wird immer die gröbere (funktionale) Maßtoleranz vorgegeben. Erst mit diesem Schritt ist der Formteilhersteller verantwortlich in die Gewährleistung der Formteilmaßhaltigkeit eingebunden.

- **Die direkt tolerierten Formteilmaße gelten als Kontrollmaße (Abnahmemasse mit vertraglicher Bindung).** Ihre Anzahl ist so klein wie möglich zu halten.

### 3.3 Geltungsbereich

Bei Berücksichtigung der kritischen Anmerkungen zur DIN 16901 soll nachstehend ein Konzept für Formteilmfertigungstoleranzen mit erweitertem Geltungsbereich für eventuelle Normungsaktivitäten und ggf. einer Nachfolgeausgabe der DIN 16901 – möglichst auf europäischer Ebene - vorgestellt werden.

#### 3.3.1 Verfahrens- und Formstoffgruppenzuordnung

- Die Maßtoleranzen des Normvorschlages gelten für das Spritzgießen, Spritzprägen, Spritzpressen und Form- sowie Fließpressen von nichtporösen Formteilen aus Thermoplasten, thermoplastischen Elastomeren und Duroplasten. Für einige Verfahrensvarianten des Spritzgießens, wie Gas- und Wasserinjektionstechniken sowie Mehrkomponentenspritzgießen, muss diese Norm sinngemäß angewendet werden. Dafür sind u. U. Absprachen zwischen Formteilhersteller und –abnehmer erforderlich. Für Gummiformteile im Geltungsbereich DIN ISO 3302-1 wäre der Normvorschlag ohne Einschränkung auch anwendbar.
- Poröse Formstoffe (z. B. Schaumstoffe) sowie andere Verarbeitungs- und Bearbeitungsverfahren sind nicht Gegenstand des Normvorschlages. Gleiches gilt auch für Verfahrenskombinationen aus Urform- und Umformverfahren (z. B. Spritzgießblasen). Die Norm enthält keine Typenliste für Formmassen bzw. Formstoffe, da diese mit Eigenschaftsmerkmalen im Sinne der Normanwendung allgemeingültig beschrieben werden (siehe 3.3.2).
- Maßabweichungen sind bei der Fertigung von Kunststoff- und Gummiformteilen prinzipiell nicht vermeidbar. Im Vorschlag für die Nachfolgeausgabe der DIN 16901 wird angestrebt, die Grundtoleranzen nach DIN EN ISO 286-1 als international eingeführtes Toleranz- und Passungssystem den Gesetzmäßigkeiten der Kunststoff- und Gummiformteilmfertigung durch maßbereichsabhängige Zuordnung so anzupassen, dass ein spezielles Toleranz- und Passungssystem für Kunststoff- und Gummiformteile nicht erforderlich wird.

#### 3.3.2 Formstofftypenzuordnung

Bei Wegfall einer permanent zu aktualisierenden Formstoff- bzw. Formmassenliste müssen eindeutige und praktisch realisierbare Kriterien für die Zuordnung der konkreten Typen vorgegeben werden.

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

- **Formstoffsteifigkeit bzw. –härte (E-Modul; Shorehärte; IRHD):**

Diese Angaben sind Basisdaten, die problemlos von jedem Formmasselieferanten zu erfahren sind.

- **Verarbeitungsschwindigkeit und Schwindungsanisotropie:**

Für die Verarbeitungsschwindigkeit ist prinzipiell nur eine Bereichsangabe mit den Extremwerten  $VS_{max}$  und  $VS_{min}$  möglich. Innerhalb eines Bereiches ist die Verarbeitungsschwindigkeit durch die Fertigungsbedingungen beeinflussbar (Prozessoptimierung), wobei die chargenbedingten Unterschiede zu berücksichtigen sind. Analoge Aussagen gelten für die Quantifizierung der Schwindungsanisotropie. Computersimulationssoftware für Schwindungs- und Verzugs Voraussagen bieten zurzeit nicht die erforderliche Sicherheit für die Konturbemaßung, sodass Werkzeugkonstrukteure und Werkzeugbauer auf mittlere Rechenwerte der Verarbeitungsschwindigkeit

$$VS_R = 0,5 (VS_{max} + VS_{min})$$

angewiesen sind. Schwindungsbereichsangaben werden in erster Linie vom Formteilhersteller erwartet, wie in dieser Verbandsrichtlinie mehrfach hervorgehoben wurde.

Seit Etablierung der Qualitätssicherungssysteme in den kunststoffverarbeitenden Betrieben ist auch eine deutlich erhöhte Messaktivität für Formteilmaße festzustellen. Wenn parallel dazu die relevanten Werkzeugkonturen ausgemessen werden, sind daraus umfangreiche Daten für Verarbeitungsschwindigkeit und Schwindungsanisotropie zu generieren. Der Formteilentwickler, der über solche Detailinformationen u. U. nicht verfügt, wird gern die fachliche Beratung der Formteilhersteller nutzen. Damit sind unsinnig genaue Toleranzangaben im Interesse beider Kooperationspartner vermeidbar.

### 3.4 Toleranzgruppen und Grundtoleranzgrade

Tabelle 1: Toleranzgruppen (TG) mit zugeordneten Grundtoleranzgraden (IT) nach DIN EN ISO 286-1

Nennmaßzuordnung in mm	ISO-Grundtoleranzgrade (IT) für werkzeuggebundene Maße								
	TG1	TG2	TG3	TG4	TG5	TG6	TG7	TG8	TG9
1 bis < 120	9	10	11	12	13	14	15	16	17
120 bis < 500	–	11	12	13	14	15	16	17	18
500 bis 1000	–	–	13	14	15	16	17	18	N.N

Für TG9 wird keine Differenzierung zwischen werkzeuggebundenen und nicht werkzeuggebundenen Maßen empfohlen.

N.N: in DIN EN ISO 286-1 nicht normativ geregelt, zur Anwendung empfohlen

Hinweise:

- Für das Spritzgießen im Nennmaßbereich über 0 bis 3 mm (Mikrospritzguss) kann bei sonst gleichen Voraussetzungen jeweils ein kleinerer (genauerer) Grundtoleranzgrad vereinbart werden (z. B. IT8 statt IT9).
- Der Grundtoleranzgrad der Werkzeugkonturfertigung (ITWZ) ergibt sich aus der jeweiligen Formteilmfertigungstoleranz (ITF) in folgender Relation: **ITWZ = ITF -3**. In Sonderfällen können mit Zustimmung des Formteilherstellers auch gröbere Konturfertigungstoleranzen vereinbart werden.

# Formteilentwicklung und Werkzeugbau

## Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

Tabelle 2: Grundtoleranzen nach DIN EN ISO 286-1 als symmetrische Grenzabmaße für werkzeugegebundene Maße (Auszug)

Grundtoleranzgrad	Grenzabmaße (GA) in mm für Nennmaßbereiche in mm															
	1 bis 3	>3 bis 6	>6 bis 10	>10 bis 18	>18 bis 30	>30 bis 50	>50 bis-80	>80 bis-120	>120 bis..180	>180 bis..250	>250 bis 315	>315 bis 400	>400 bis 500	>500 bis 630	>630 bis 800	>800 bis 1000
IT8	±0,007	±0,009	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
IT9	±0,013	±0,015	±0,018	±0,022	±0,026	±0,031	±0,037	±0,044	—	—	—	—	—	—	—	—
IT10	±0,020	±0,024	±0,029	±0,035	±0,042	±0,050	±0,060	±0,070	—	—	—	—	—	—	—	—
IT11	±0,03	±0,04	±0,05	±0,06	±0,07	±0,08	±0,10	±0,11	±0,13	±0,15	±0,16	±0,18	±0,20	±0,22	±0,25	±0,28
IT12	±0,05	±0,06	±0,08	±0,09	±0,11	±0,13	±0,15	±0,18	±0,20	±0,23	±0,26	±0,29	±0,32	±0,35	±0,40	±0,45
IT13	±0,07	±0,09	±0,11	±0,14	±0,17	±0,20	±0,23	±0,27	±0,31	±0,36	±0,41	±0,45	±0,49	±0,55	±0,63	±0,70
IT14	±0,13	±0,15	±0,18	±0,22	±0,26	±0,31	±0,37	±0,44	±0,50	±0,58	±0,65	±0,70	±0,78	±0,88	±1,00	±1,15
IT15	±0,20	±0,24	±0,29	±0,35	±0,42	±0,50	±0,60	±0,70	±0,80	±0,93	±1,05	±1,15	±1,25	±1,40	±1,60	±1,80
IT16	±0,30	±0,38	±0,45	±0,55	±0,65	±0,80	±0,95	±1,10	±1,25	±1,45	±1,60	±1,80	±2,00	±2,20	±2,50	±2,80
IT17	±0,42	±0,60	±0,75	±0,90	±1,05	±1,25	±1,50	±1,75	±2,00	±2,30	±2,60	±2,85	±3,15	±3,50	±4,00	±4,50
IT18	—	—	—	±1,35	±1,65	±1,95	±2,30	±2,70	±3,15	±3,60	±4,05	±4,45	±4,85	±5,50	±6,25	±7,00
N.N	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	±7,5	±8,5	±10,0	±11,5

Für **nicht werkzeugegebundene Maße** gelten die Grenzabmaße der jeweils nächst höheren Nennmaßbereichsstufe. Die Grenzabmaße der Nennmaßbereichsstufe > 800...1000 sind um die Abmaßdifferenz zur vorhergehenden Stufe zu erhöhen.

Hinweise:

- Als Nennmaße für Formteilzeichnungen gelten Toleranzmittennaße (NF = CF)
- Erforderlichenfalls wurden die Grenzabmaße für IT9 und IT10 auf 0,001 mm und ab IT11 auf 0,01 mm gerundet.
- Die Grenzabmaße für N.N sowie für IT17 im Maßbereich 1 bis 6 mm wurden nach Regel der DIN EN ISO 286-1 bestimmt.
- Bis zur Verabschiedung einer Nachfolgenorm für DIN 16901 sollten **Allgemeintoleranzen** im entsprechenden Zeichnungsschriftfeld angegeben werden, wie am Beispiel der Toleranzgruppe TG6: **TecPart – TG6**

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

#### 3.5 Verfahren zur Einstufung der Genauigkeitsgrade von Maßtoleranznormen

Zur Einstufung der Genauigkeitsgrade (Toleranzgruppen und Toleranzklassen) aktueller Maßtoleranznormen einschließlich des Normenvorschlages soll ein einheitlich nutzbares Verfahren vorgeschlagen werden.

##### 3.5.1 Vergleich der Maßtoleranznormen

Voraussetzung ist eine Klassifizierung der Toleranzgruppen bzw. -klassen auf annähernd vergleichbare Genauigkeitsniveaus, die dann mit einem einheitlichen Punktbewertungsschema auszuwählen sind:

TecPart-Richtlinie TG	DIN 16901 TG	SN 277012 TG	DIN ISO 3302-1 TK	P <sub>g</sub>
TG9	–	–	M4	≥ 9
TG8	160	6	M3	8
TG7	150	5	M2	7
TG6	140	4	M1	6
TG5	130	3	–	5
TG4	120	2	–	4
TG3	110	1	–	3
TG2	FWT	0	–	2
TG1	–	01	–	1

Gesamtpunktzahl  $P_g = \sum_{i=1}^5 P_i$  für Auswahl der Toleranzgruppen (TG) bzw. Toleranzklassen (TK)

##### 3.5.2 Quantifizierung der Einflusskriterien durch Punktbewertung (P<sub>1</sub> bis P<sub>4</sub>)

Fertigungsverfahren	P <sub>1</sub>
Spritzgießen, Spritzprägen, Spritzpressen	1
Formpressen, Fließpressen	2

Formstoffsteifigkeit bzw. -härte	P <sub>2</sub>
E-Modul: über 1200 N/mm <sup>2</sup>	1
E-Modul: 30 bis 1200 N/mm <sup>2</sup> Shore D: 40 bis 75	2
Shore A bzw. IRHD: 50 bis 90	3
Shore A bzw. IRHD: unter 50	4

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

Verarbeitungsschwindung 0,5 (VS <sub>max</sub> + VS <sub>min</sub> )	P <sub>3</sub>
unter 1 %	1
1 % bis 2 %	2
über 2 %	3

Bei Schwindungsanisotropie ist der maximale Schwindungskennwert für die Zuordnung maßgebend.

Genauigkeit der Werkzeugkonturbemaßung	$\frac{2(VS_{max}-VS_{min})}{VS_{max}+VS_{min}}$	P <sub>4</sub>
<b>genau möglich:</b> Rechenwerte der VS sind aus Erfahrungen und systematischen Messungen oder aus Computersimulationen genau bekannt. Schwindungsanisotropie ist bedeutungslos oder kann in der jeweiligen Maßrichtung hinreichend genau berücksichtigt werden. Mögliche Abweichungen vom Rechenwert betragen max. ± 10 %.	bis 0,2	1
<b>bedingt genau möglich:</b> Rechenwerte der VS sind in relativ engen Bereichen bekannt. Sofern Schwindungsanisotropie auftritt, kann sie zumindest tendenziell richtig berücksichtigt werden. Mögliche Abweichungen vom Rechenwert betragen max. ± 20 %.	über 0,2 bis 0,4	2
<b>nur ungenau möglich:</b> Rechenwerte der VS sind nur als grobe Richtwertbereiche bekannt. Schwindungsanisotropie kann nicht oder nur ungenügend berücksichtigt werden. Praktische Erfahrungen zum Abschätzen relevanter Rechenwerte sind nicht vorhanden. Mögliche Abweichungen vom Rechenwert liegen u. U. deutlich über ± 20 %.	über 0,4	3

### 3.5.3 Fertigungsaufwandseinstufung (P<sub>5</sub>)

Die Einstufung des mobilisierbaren Fertigungsaufwandes nach vorgegebenen Merkmalen erfordert vom Formteilhersteller eine vorurteilsfreie und realistische Analyse seines Leistungsvermögens. Kann diesbezüglich ein hoher Erfüllungsgrad garantiert werden, muss andererseits der Formteilabnehmer bei hohen Maßhaltigkeitsforderungen ein gehobenes Preisniveau akzeptieren. Bei Nichterfüllung dieser Voraussetzungen (Hersteller will unbedingt Auftrag akquirieren u./o. Abnehmer betreibt Preisdrückerei bzw. fordert anwendungstechnisch unberechtigt kleine Toleranzen) ist eine sachbezogene Kooperation erschwert.

Die Vorstellung einer noch weitergehenden Formalisierung und Quantifizierung der Entscheidungen zur Fertigungsaufwandseinstufung würde nur die Illusion größerer Genauigkeit erzeugen.

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

- **Aufwandsmerkmale (M<sub>i</sub>):**

<b>M<sub>1</sub></b>	Bezüglich Maßhaltigkeit optimal gestaltete und dimensionierte Formteile
<b>M<sub>2</sub></b>	Funktionssichere und mechanisch steife sowie thermisch und rheologisch exakt ausbalancierte Werkzeuge
<b>M<sub>3</sub></b>	Maschinen und Handlingsperipherie, deren Funktionsweise, Steuerung und Ablauforganisation hohe Anforderungen an Wiederholgenauigkeit und Zuverlässigkeit bei automatischer Betriebsweise erfüllen.
<b>M<sub>4</sub></b>	Qualifiziertes und erfahrenes Personal für die Fertigungsvorbereitung, Fertigung und Qualitätssicherung, insbesondere auch befähigt zur systematischen Optimierung des Fertigungsprozesses
<b>M<sub>5</sub></b>	Formmassen mit entsprechenden Liefergarantien bezüglich des maßrelevanten Eigenschaftsniveaus, insbesondere geringer Schwindungsschwankungen
<b>M<sub>6</sub></b>	Kontinuierliche Überwachung von Maschinen- und Prozessfähigkeit (SPC) sowie wichtiger Werkzeugfunktionen (Konturverschleiß, Temperierung)

- **Erfüllungsgrade:**

Gesamterfüllungsgrad	Einzelerfüllungsgrad	M <sub>i</sub>
$M_g = \sum_{i=1}^6 M_i$	vollständig erfüllt	3
	bedingt erfüllt	2
	nicht erfüllt	1
Hinweis: Für Allgemeintoleranzen (Reihe 0) ist keine Bewertung der Aufwandsmerkmale vorgesehen.		

- **Aufwandsreihenzuordnung:**

Aufwandsreihen	M <sub>g</sub>	P <sub>5</sub>
<b>Reihe 0 (Allgemeintoleranzen):</b> Fertigung für Formteilmaße ohne direkte Toleranzangabe am Nennmaß	–	1
<b>Reihe 1 (Normalfertigung):</b> Fertigung realisiert Maßhaltigkeitsforderungen, die keinen besonderen Qualitätsschwerpunkt bilden.	9 bis 12	0
<b>Reihe 2 (Genaufertigung):</b> Fertigung ist auf höhere Maßhaltigkeitsforderungen orientiert.	13 bis 15	-1
<b>Reihe 3 ((Präzisionsfertigung):</b> Vollständige Ausrichtung der Fertigung auf die sehr hohen Maßhaltigkeitsforderungen	16 bis 17	-2
<b>Reihe 4 (Präzisionssonderfertigung):</b> Wie Reihe 3, aber mit intensivierter Prozessüberwachung	18	-3
Hinweis: Die Zuordnung der Aufwandsreihen nach vorstehender Bewertung der Aufwandsmerkmale ist als Orientierung gedacht und kann von dem Anwender u. U. nach Erfahrung und Erfordernis modifiziert werden.		

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

Für eine schnelle Auswahl der Toleranzgruppen sollten die Formteilhersteller entsprechende Zuordnungstabellen für betriebliche Formmassen und Verfahren erstellen.

#### 3.6 Demonstrationsbeispiele

**Beispiel 1:** Für ein ABS-Spritzgussteil ist ein aus Anwendungsgründen toleriertes Maß  $96 \pm 0,2$  mm auf fertigungstechnische Realisierbarkeit zu überprüfen und die Toleranzgruppe (TG) für Allgemeintoleranzen anzugeben. Aufgrund noch nicht entschiedener Werkzeuggestaltungsvarianten kann das Maß werkzeuggebunden oder nicht werkzeuggebunden sein.

**Lösung:**

Spritzgießen	$P_1 = 1$
E-Modul: 2500 N/mm <sup>2</sup>	$P_2 = 1$
Erfahrungsgemäßer	$P_3 = 1$
Schwindungsbereich: 0,5...0,7 %	$P_4 = 2$
<b><math>P_g = 5 + P_5</math></b>	

Fachleute des Betriebes haben nach Maßgabe der vorgegebenen Merkmale das Leistungsvermögen wie folgt eingestuft:

M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	<b>M<sub>g</sub> = 13...17</b>
2...3	2	3	2...3	2...3	2...3	

Damit sind Aufwandsvoraussetzungen für Reihe 2 und 3 u. U. erfüllbar.

**Allgemeintoleranz ( $P_5 = 1$ )  $\Rightarrow$  TecPart-TG6**

	Grenzabmaße in mm	
	Reihe 2 ( $P_5 = -1$ ) TG4 (IT12)	Reihe 3 ( $P_5 = -2$ ) TG3 (IT11)
werkzeuggebunden:	$\pm 0,18$	$\pm 0,11$
nicht werkzeuggebunden:	$\pm 0,20$	$\pm 0,13$

**Toleranz mit Reihe 2 ist realisierbar!**

**Beispiel 2:** Der tolerierte Wellendurchmesser eines Passteils für Messgeräte soll durch Spritzgießen aus POM als werkzeuggebundenes Maß gefertigt werden. Aus der Passteilzeichnung folgt:  $1,30_{-0,02}$  mm. Aufgrund seiner Ausrüstungen und Erfahrungen für Präzisionsteile der Feinwerktechnik erfüllt der Spritzgussbetrieb die Anforderungen von Reihe 3 und 4.

**Lösung:**

Rückrechnung des Wellendurchmessers auf Toleranzmittenmaß:  $1,29 \pm 0,01$  mm.

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

Spritzgießen	$P_1 = 1$
E-Modul: 3000 N/mm <sup>2</sup>	$P_2 = 1$
Erfahrungsgemäßer Schwindungsbereich: 1,5...1,7 %	$P_3 = 2$
	$P_4 = 1$
<b><math>P_g = 5 + P_5</math></b>	

Für Nennmaßbereichsstufe 1...3 mm und Reihe 4 ( $P_5 = -3$ ) folgen mit Sondervereinbarung für Mikrospritzguss TG2 (IT9) die realisierbaren Abmaße  **$\pm 0,013$  mm**. Damit ist die Leistungsgrenze geringfügig überschritten. Es sei erwähnt, dass für solche Fälle mit POM-Spritzgussteilen IT8 ( $\pm 0,007$  mm) erreicht wurden.

**Beispiel 3:** Für ein Spritzgussteil aus dem thermoplastischen Elastomer SEBS soll die fertigungstechnisch realisierbare Toleranz im Fall der Normalfertigung (Reihe 1) für das Maß 185 mm bestimmt werden.

### Lösung:

Spritzgießen	$P_1 = 1$
Shore A: 42	$P_2 = 4$
Schwindungsbereiche: $VS_{  } = 1...2$ % $VS_{\perp} = 0,5...1$ %	$P_3 = 2$ $P_4 = 3$
Reihe 1	$P_5 = 0$
<b><math>P_g = 10 \Rightarrow</math> TG9 (IT18)</b>	

Unterscheidung von werkzeuggebundenen und nicht werkzeuggebundenen Maßen kann entfallen:  **$185 \pm 3,60$  mm**.

**Beispiel 4:** Ein Duroplastpressteil aus Typ 31 hat das tolerierte Funktionsmaß  **$30 \pm 0,2$  mm**, welches werkzeuggebunden ist. Aufgrund der zurückhaltenden Preisvorstellungen des Formteilabnehmers möchte der Hersteller den Fertigungsaufwand auf Reihe 1, maximal aber auf Reihe 2 begrenzen. Ist dies realistisch?

### Lösung:

Formpressen	$P_1 = 2$
E-Modul: 6000 N/mm <sup>2</sup>	$P_2 = 1$
Schwindungsbereich: 0,5...0,7 %	$P_3 = 1$ $P_4 = 2$
<b><math>P_g = 6 + P_5</math></b>	

Reihe 1 ( $P_5 = 0$ ):  $P_g = 6 \Rightarrow$  TG6 (IT14)  $\Rightarrow$   **$30 \pm 0,26$  mm**

Reihe 2 ( $P_5 = -1$ ):  $P_g = 5 \Rightarrow$  TG5 (IT13)  $\Rightarrow$   **$30 \pm 0,17$  mm**

**Vorstellungen des Formteilherstellers sind realisierbar!**

# Formteilentwicklung und Werkzeugbau

## Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

### 3.7 Maßtoleranzrichtwerte für die spanende Nachbearbeitung von Formteilen

Für sehr hohe Maßhaltigkeitsforderungen kann die spanende Nachbearbeitung der Formteile u. U. eine wirtschaftlich vertretbare Alternative sein. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die optimalen technologischen Parameter (Werkzeuge, Einspann- und Bearbeitungsbedingungen) in besonderer Weise vom Formstoff und möglicher Additive abhängen.

Nachfolgend werden als Ergebnis einer umfangreichen Recherche die realisierbaren Maßtoleranzen für spanende Nachbearbeitung von Kunststoff- und Gummiformteilen als Orientierungswerte empfohlen. Dabei wurde u. a. auch das VKI-Merkblatt 11.90 vom Kunststoffverband Schweiz berücksichtigt. Die Maßtoleranzen werden nach DIN EN ISO 286-1 durch maßbereichsabhängige Grundtoleranzgrade (IT) angegeben. Bei hydrophilen Polymeren mit sehr großer Wasseraufnahme (z. B. PA46, PA6, PA66) ist eine Erhöhung der Grundtoleranzgrade um eine Stufe (ungenauer) erforderlich. Spanende Bearbeitung von Weichgummi ist unter bestimmten Voraussetzungen mit der Genauigkeit der Toleranzklasse M1 nach DIN ISO 3302-1 möglich. Hierzu können technologische Informationen der Veröffentlichung von *W. Hintze, S. Isecke D. Joswig*: Das Industriemagazin 11/2002, S 36 ff. entnommen werden.

Nennmaß in mm		1 bis 30		über 30 bis 180		über 180 bis 500	
Verfahren		hart	halbhart	hart	halbhart	hart	halbhart
Bohren	FB	IT8	IT9	IT9	IT10	IT10	IT11
	NB	IT9	IT10	IT10	IT11	IT11	IT12
Reiben	GB	IT10	IT11	IT11	IT12	IT12	IT13
Drehen	FB	IT8	IT9	IT9	IT10	IT10	IT11
	NB	IT9	IT10	IT10	IT11	IT11	IT12
	GB	IT11	IT12	IT12	IT13	IT13	IT14
Fräsen	FB	IT9	IT10	IT10	IT11	IT11	IT12
	NB	IT10	IT11	IT11	IT12	IT12	IT13
	GB	IT11	IT12	IT12	IT13	IT13	IT14

FB: Feinbearbeitung (Schlichten)  
 NB: Normalbearbeitung  
 GB: Grobbearbeitung (Schruppen)

# Formteilentwicklung und Werkzeugbau

## Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

### Literaturverzeichnis

- L. Starke / B.-R. Meyer: Toleranzen, Passungen und Oberflächengüte in der Kunststofftechnik,  
2. Auflage 2004, Carl Hanser Verlag München Wien
- Hoischen / Hesser: Technisches Zeichnen  
31. Auflage (2007), Cornelsen Verlag
- W. Woebcken: Maßgenauigkeit und Maßtoleranzen von Kunststoff-  
Formteilen  
Kunststoffe 63 (1973), H. 10, S 632 bis 636
- Kunststoffverband Schweiz VKI-Merkblatt 11.90

### Normenverzeichnis

(Stand Oktober 2009)

- DIN 7167 Zusammenhang zwischen Maß-, Form- und Parallelitätstoleranzen; Hüll-  
bedingung ohne Zeichnungseintragung  
(Ausgabe Januar 1987)
- DIN 16747 Rauheit der formgebenden Oberflächen von Preßwerkzeugen und Spritz-  
gießwerkzeugen für Kunststoff-Formmassen  
(Ausgabe Mai 1981)
- DIN 16749 Preßwerkzeuge und Spritzgießwerkzeuge; Maßtoleranzen für formge-  
bende Werkzeugteile  
(Ausgabe Juli 1986)
- DIN 16901 Kunststoff-Formteile; Toleranzen und Abnahmebedingungen für  
Längenmaße  
(Ausgabe November 1982; zurückgezogen Oktober 2009)
- DIN 16941 Extrudierte Profile aus thermoplastischen Kunststoffen; Allgemeintole-  
ranzen für Maße, Form und Lage /Achtung: Vorgesehener Ersatz durch  
DIN EN 15860 (2008-09)  
(Ausgabe Mai 1986)
- DIN EN ISO 286-1 Geometrische Produktspezifikation (GPS) - ISO-Toleranzsystem für Län-  
genmaße - Teil 1: Grundlagen für Toleranzen, Abweichungen und Pas-  
sungen (ISO/DIS 286-1:2007); Deutsche Fassung pr EN ISO 286-1:2007 /  
Achtung: Vorgesehen als Ersatz für DIN ISO 286-1 (1990-11)  
(Ausgabe August 2007)

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau

### Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

- DIN EN ISO 294-4      Kunststoffe - Spritzgießen von Probekörpern aus Thermoplasten - Teil 4: Bestimmung der Verarbeitungsschwindigkeit (ISO 294-4:2001); Deutsche Fassung EN ISO 294-4:2003 (Ausgabe Juni 2003)
- DIN EN ISO 868      Kunststoffe und Hartgummi – Bestimmung der Eindruckhärte mit einem Durometer (Shore-Härte) (ISO 868:2003); Deutsche Fassung EN ISO 868:2003 (Ausgabe Oktober 2003)
- DIN EN ISO 1101      Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Geometrische Tolerierung – Tolerierung von Form, Richtung, Ort und Lauf (ISO 1101:2004); Deutsche Fassung EN ISO 1101:2005 (Ausgabe August 2008)
- DIN EN ISO 4287      Geometrische Produktspezifikationen (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit (ISO 4287:1997); Deutsche Fassung EN ISO 4287:1998 / Achtung: Vorgesehene Änderung durch DIN EN ISO 4287/A1 (2007-07) (Ausgabe Oktober 1998)
- DIN EN ISO4287 /A1      Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Begriffe, und Oberflächenkenngrößen - ÄNDERUNG 1: Spitzenzählparameter (ISO 4287:1997/DAM 1:2007)-, Deutsche Fassung EN ISO 4287:1997/prA1:2007 / Achtung-. Vorgesehen als Änderung von DIN EN ISO 4287 (1998-10) (Ausgabe Juli 2007)
- DIN ISO 48      Elastomere und thermoplastische Elastomere - Bestimmung der Härte (Härte zwischen 10 IRHD und 100 IRHD) (ISO 48:2007) (Ausgabe Oktober 2009)
- DIN ISO 2768-2      Allgmeintoleranzen; Toleranzen für Form und Lage ohne einzelne Toleranzeintragung; Identisch mit ISO 2768-2:1989 (Ausgabe April 1991)
- DIN ISO 3040      Technische Zeichnungen; Eintragung der Maße und Toleranzen für Kegel-, Identisch mit ISO 3040:1990 (Ausgabe September 1991)
- DIN ISO 3302-1      Gummi - Toleranzen für Fertigteile - Teil 1: Maßtoleranzen (ISO 3302-1:1996) (Ausgabe Oktober 1999)
- DIN ISO 3302-2      Gummi - Toleranzen für Fertigteile - Teil 2: Form- und Lagetoleranzen (ISO 3302-2:1998) (Ausgabe Oktober 1999)

## Formteilentwicklung und Werkzeugbau Grundsätze zur Konzeption und Tolerierung

DIN ISO 8015	Technische Zeichnungen; Tolerierungsgrundsatz-, Identisch mit ISO 8015, Ausgabe 1985 (Ausgabe Juni 1986)
DIN ISO 16916	Press-, Spritzgieß- und Druckgießwerkzeuge - Werkzeug-Spezifikationsblatt für Spritzgießwerkzeuge (ISO 16916:2004) (Ausgabe September 2005)
ISO 2577	Kunststoffe – Warmaushärtbare Formkunststoffe - Bestimmung der Schrumpfung (Ausgabe Dezember 2007)
SN 277012	Kunststoffe-, Toleranzen für gepreßte und gespritzte Formteile (Ausgabe 1982)



