

DIN 16742

ICS 83.140.99

Ersatz für
die 2009-10 zurückgezogene
Norm
DIN 16901:1982-11

**Kunststoff-Formteile –
Toleranzen und Abnahmebedingungen;
Text Deutsch und Englisch**

Plastics moulded parts –
Tolerances and acceptance conditions;
Text in German and English

Moulages plastiques –
Tolérances et conditions de réception;
Texte en allemand et anglais

Gesamtumfang 71 Seiten

Normenausschuss Kunststoffe (FNK) im DIN
Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG) im DIN

Inhalt

Seite

Vorwort	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen.....	7
3 Begriffe	8
4 Symbole und Abkürzungen	9
4.1 Symbole	9
4.2 Abkürzungen	10
5 Tolerierung von Kunststoff-Formteilen	10
5.1 Allgemeines.....	10
5.2 Indirekte Tolerierung durch Allgemeintoleranzen.....	10
5.3 Direkte Tolerierung durch Abmaßangabe am Nennmaß	11
5.4 Tolerierung von Entformungsschrägen	11
5.5 Bemaßung, Tolerierung und Messung von Radien.....	11
5.6 Spezifikation von Freiformflächen	11
6 Formmasseeigenschaften	11
6.1 Allgemeines.....	11
6.2 Verarbeitungsschwindung und Schwindungsanisotropie	11
6.3 Formstoffsteifigkeit bzw. -härte	13
7 Dimensionelle und geometrische Tolerierung	13
7.1 Dimensionelle Tolerierung.....	13
7.2 Geometrische Tolerierung	18
7.3 Trenngrat/Werkzeugversatz.....	20
7.4 Tolerierung von Winkelmaßen	21
7.5 Toleranzanalyse von Maßketten.....	21
8 Abnahmebedingungen der Formteilmfertigung (ABF)	22
Anhang A (informativ) Maßbezugsebenen für Anwendung und Fertigung der Formteile	23
Anhang B (informativ) Ursachen und Einflussfaktoren auf die Verarbeitungsschwindung nicht poröser Kunststoffe	25
Anhang C (informativ) Orientierungshilfen für die Zuordnung der Kunststoff-Formmassen zu den Toleranzgruppen	26
Anhang D (informativ) Bewertung des Fertigungsaufwandes	29
Anhang E (informativ) Nachweis von Maschinen- oder Prozessfähigkeit.....	32
Anhang F (informativ) Hauptursachen für Maß-, Form- und Lageabweichungen bei der Formteilmfertigung	33
Anhang G (informativ) Beispiel zur Ermittlung des D_p-Maßes zur Anwendung der Tabelle 9	34
Literaturhinweise	35

Bilder

Bild 1 — Werkzeuggebundene Maße	14
Bild 2 — Nicht werkzeuggebundene Maße	14
Bild 3 — Trenngrat/Werkzeugversatz	21
Bild A.1 — Maßbezugsebenen für Anwendung und Fertigung der Formteile	23
Bild G.1 — Beispielhafte Skizze zur Ermittlung des D_p-Maßes	34

Tabellen

Tabelle 1 — Toleranzgruppen (TG) mit zugeordneten Grundtoleranzgraden (IT) nach DIN EN ISO 286-1	13
Tabelle 2 — Kunststoff-Formteiltoleranzen als symmetrische Grenzabmaße für Größenmaße	15
Tabelle 3 — Punktezuordnung der Toleranzgruppen	16
Tabelle 4 — Bewertungsmatrize 1	16
Tabelle 5 — Bewertungsmatrize 2	16
Tabelle 6 — Bewertungsmatrize 3	17
Tabelle 7 — Bewertungsmatrize 4	17
Tabelle 8 — Bewertung des Fertigungsaufwandes	18
Tabelle 9 — Kunststoff-Formteiltoleranzen für Positionstoleranzen	19
Tabelle 10 — Allgemeintoleranzen für Profilformen	20
Tabelle B.1 — Ursachen und Einflussfaktoren auf die Verarbeitungsschwindung nicht poröser Kunststoffe	25
Tabelle C.1 — Toleranzreihen und Toleranzgruppen	26
Tabelle C.2 — Härteeinstufung	27
Tabelle C.3 — Zuordnung von Duroplastformmassen	28
Tabelle D.1 — Unterscheidungsmöglichkeiten bzw. erforderlicher Aufwand	30

Vorwort

Diese Norm wurde vom Arbeitsausschuss NA 054-05-13 AA „Toleranzen von Kunststoff-Formteilen“ des Normenausschusses Kunststoffe (FNK) erstellt.

Die deutsche Version der DIN 16742 ist verbindlich.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Änderungen

Gegenüber der 2009-10 zurückgezogenen Norm DIN 16901:1982-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Herstellung einer weitgehenden Kompatibilität mit internationalem Toleranz- und Passungssystem nach ISO 1, ISO 286-1, ISO 286-2, ISO 1101, ISO 1660, ISO 5458, ISO 5459, ISO 8015, ISO 10135, ISO 14253-1, ISO 14405-1, ISO 14405-2, ISO 14406, ISO 17450-1 und ISO 17450-2;
- b) Ersatz einer permanent zu aktualisierenden Formmasseliste durch die Typenzuordnung mittels genauigkeitsrelevanter Eigenschaften;
- c) Einstufung des mobilisierbaren Fertigungsaufwandes (Prozessstabilität, Qualitätssicherung) für das erforderliche Genauigkeitsniveau aus einer realistischen Analyse des Leistungsvermögens des Formteilherstellers in Toleranzreihen (Aufwandsreihen).

Frühere Ausgaben

DIN 7710: 1941-08, 1943-09, 1951-03
DIN 7710-1: 1959-05, 1965-04, 1974-01
DIN 7710-2: 1959-05, 1966-12, 1974-01
DIN 16901: 1973-07, 1982-11

Einleitung

Im Vergleich zu Metallwerkstoffen muss bei Kunststoffen meist mit deutlich größeren Maß-, Form- und Lageabweichungen bei Anwendung und Fertigung der Formteile gerechnet werden. Aufgrund besonderer Eigenschaften der Kunststoffe (z. B. große Verformbarkeit, geringe Steifigkeit) sind die funktionalen Genauigkeitsanforderungen weitaus geringer als bei Metallen anzusetzen, um ausreichend maßhaltige Formteile wirtschaftlich herzustellen.

Wegen der besonderen Struktur der Kunststoffe und deren stofflichen Modifizierungsmöglichkeiten ist das Eigenschaftsbild völlig verschieden von dem der Metalle. Maßhaltigkeitsrelevante Eigenschaften der Kunststoffe bei der Formteilanwendung und bei der Verarbeitung durch Urformverfahren (Spritzgießen, Pressen, Rotationsformen) erfordern daher eine deutlich andere Bewertung und Quantifizierung geometrischer Toleranzen im Vergleich zu Metallwerkstoffen. Die für Metalle gültigen Toleranznormen können daher nicht oder nur sehr eingeschränkt für Kunststoffkonstruktionen übernommen werden. Daraus folgt die Notwendigkeit dieser Norm für Fertigungstoleranzen der Kunststoff-Formteile.

Das spezielle Eigenschaftsbild der Kunststoffe bedingt die Berücksichtigung von drei unterschiedlichen Maßbezugsebenen, die in Anhang A definiert und bezüglich der Haupteinflussfaktoren charakterisiert sind.

Bei den Kooperationsbeziehungen zwischen Formteilentwicklung, Formteilverfertigung und Werkzeugbau ist folgende sachlogische Bearbeitungsfolge einzuhalten:

- a) Der Formteilkonstrukteur entscheidet bei Berücksichtigung der Formteilanforderungen über die funktional erforderlichen Toleranzen, die sich aus den Anwendungsbedingungen und der Montage ergeben.
- b) Der Formteilhersteller bestätigt zur Einhaltung der Relation

„funktional bedingte Toleranz $\geq$ fertigungstechnisch mögliche Toleranz“

die fertigungstechnisch möglichen Toleranzen für die Abnahmebedingungen der Formteilverfertigung, wobei wirtschaftliche Vereinbarungen (z. B. Preiszuschläge) u. U. einzubeziehen sind. In der Konstruktionsdokumentation sind immer die funktional erforderlichen Toleranzen zu fixieren. Dadurch werden unsinnig genaue und unwirtschaftliche „Angst- oder Gewohnheitstoleranzen“ vermieden.

- c) Mit Auftragsvergabe wird durch den Formteilkonstrukteur der Werkstoff des Formteils verbindlich festgelegt. Damit legt er die Grundlage für die Festlegung der Verarbeitungsschwindigkeit. Nach Auftragserteilung sind zwischen Formteilhersteller und Werkzeugbau bzw. Werkzeugkonstrukteur Rechenwerte der Verarbeitungsschwindigkeit zu vereinbaren, wobei u. U. externe Erfahrungen (z. B. vom Formmassehersteller) genutzt werden.

Abhängig von der Formmassefestlegung, Formteilgestaltung und Werkzeugauslegung hat die Verarbeitung der Kunststoffe erheblichen Einfluss auf die Maßhaltigkeit der Formteile. Die Verarbeitungsmaschinen der Urformverfahren sind komplexe thermodynamisch-rheologische Verbundsysteme, die trotz hochentwickelter Fertigungstechnik noch weitgehend empirisch betrieben und optimiert werden.

Maßrelevante Eigenschaften der Kunststoffe sind u. a. die extreme Spannweite der typabhängigen Steifigkeit bzw. Härte sowie der Verarbeitungsschwindigkeit. Stationäre und inhomogene Werkzeug- und Formteilmperaturen in Verbindung mit fließtechnisch bedingten Orientierungen von Mikrostrukturen und Zusatzstoffen führen zu Eigenschaftsanisotropien, die einen mehr oder weniger ausgeprägten Verzug (Verwölbung, Verwindung, Verwerfung) der Formteile bewirken. Des Weiteren können Wanddickenunterschiede bzw. Masseanhäufungen / Materialanhäufungen mögliche Ursachen für Verzug sein. Damit sind Form-, Lage- und Winkelabweichungen in höchst komplexer Weise verbunden, die im Vergleich zu Metallen eine Normung erheblich erschweren.

Es muss dadurch beim Formteil mit unvermeidbaren verfahrensbedingten Abweichungen gerechnet werden. Die Vorgehensweise, wie bei Abweichungen zu verfahren ist, ist von der Funktion des Formteils abhängig und vereinbarungspflichtig:

- Abweichung durch gestalterische Maßnahmen (Versteifungsrippen, Materialverdickung, Formveränderungen, etc.) eliminieren;
- Abweichung durch festgelegte Vorhaltung im Werkzeug korrigieren;
- Abweichung belassen und durch Grenzmustervereinbarung bzw. Zeichnungskorrektur dokumentieren;
- Abweichung belassen und durch "Fertigungsabweichung" dokumentieren.

ANMERKUNG Verfahrensbedingte Abweichungen können sowohl durch günstige Gestaltung des Formteils als auch durch Optimierung des Fertigungsprozesses reduziert werden.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für die Festlegung fertigungstechnisch möglicher Toleranzen für Kunststoff-Formteile. Sie gilt ausschließlich für Neukonstruktionen ab Ausgabedatum.

Sie umfasst Grenzabmaße für Größenmaße (Zweipunktmaße) als indirekte Tolerierung (Allgemeintoleranzen) und als direkte Tolerierung (Abmaßangabe am Nenngrößenmaß).

Zur Tolerierung von Form- und Lageabweichungen dienen Profilformtoleranzen als Allgemeintoleranzen und Positionstoleranzen für die direkte Tolerierung durch zylindrische Toleranzzonen.

Verfahrenstechnische Grundlage dieser Norm sind Urformverfahren mit geschlossenen Werkzeugen, wie Spritzgießen, Spritzprägen, Spritzpressen und Pressen von nicht porösen Formteilen aus Thermoplasten, thermoplastischen Elastomeren und Duroplasten sowie das Rotationsformen von Thermoplasten. Für spezielle Verfahrensvarianten ist eine sinngemäße Anwendung der Norm möglich, wenn dies mit dem Formteilhersteller vereinbart wurde.

Poröse Formstoffe (z. B. Schaumstoffe) sowie andere Verarbeitungs- und Bearbeitungsverfahren gehören nicht zu dem Anwendungsbereich dieser Norm. Gleiches gilt auch für Verfahrenskombinationen aus Urform- und Umformverfahren (z. B. Spritzgießblasen, Spritzgießstreckformen). Zulässige Toleranzen für poröse Formteile sind zu vereinbaren.

Werden Toleranzen außerhalb des Geltungsbereichs der Norm gefordert, sind diese mit dem Formteilhersteller zu vereinbaren und auf der Zeichnung zu spezifizieren.

Abweichungen von der Formteiloberflächenqualität, wie Einfallstellen, unerwünschte Fließstrukturen und Rauheiten sowie Bindenähte sind nicht Gegenstand dieser Norm.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN EN ISO 286-1, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — ISO-Toleranzsystem für Längenmaße — Teil 1: Grundlagen für Toleranzen, Abmaße und Passungen*

DIN EN ISO 286-2, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — ISO-Toleranzsystem für Längenmaße — Teil 2: Tabellen der Grundtoleranzgrade und Grenzabmaße für Bohrungen und Wellen*

DIN EN ISO 291:2008-08, *Kunststoffe — Normalklimate für Konditionierung und Prüfung (ISO 291:2008); Deutsche Fassung EN ISO 291:2008*

DIN EN ISO 294-4, *Kunststoffe — Spritzgießen von Probekörpern aus Thermoplasten — Teil 4: Bestimmung der Verarbeitungsschwindigkeit*

DIN EN ISO 527 (alle Teile), *Kunststoffe — Bestimmung der Zugeigenschaften*

DIN EN ISO 868:2003-10, *Kunststoffe und Hartgummi — Bestimmung der Eindruckhärte mit einem Durometer (Shore-Härte) (ISO 868:2003); Deutsche Fassung EN ISO 868:2003*

DIN EN ISO 1043 (alle Teile), *Kunststoffe — Kennbuchstaben und Kurzzeichen*

DIN EN ISO 1101, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Geometrische Tolerierung — Tolerierung von Form, Richtung, Ort und Lauf*

DIN EN ISO 5458, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Form- und Lagetolerierung — Positionstolerierung*

DIN EN ISO 5459, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Geometrische Tolerierung — Bezüge und Bezugssysteme*

DIN EN ISO 8015, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Grundlagen — Konzepte, Prinzipien und Regeln*

DIN EN ISO 10135, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Zeichnungsangaben für Formteile in der technischen Produktdokumentation (TPD)*

DIN EN ISO 14405-1, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Dimensionelle Tolerierung — Teil 1: Längenmaße*

DIN EN ISO 14405-2, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Geometrische Tolerierung — Teil 2: Andere als lineare Maße*

DIN EN ISO 18064, *Thermoplastische Elastomere — Nomenklatur und Kurzzeichen*

DIN ISO 48, *Elastomere und thermoplastische Elastomere — Bestimmung der Härte (Härte zwischen 10 IRHD und 100 IRHD)*

DIN ISO 10579, *Technische Zeichnungen — Bemaßung und Tolerierung nicht-formstabiler Teile*

ISO 2577, *Plastics — Thermosetting moulding materials — Determination of shrinkage*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN EN ISO 8015 und die folgenden Begriffe.

3.1
Konstruktionsdokumentation
zur vollständigen konstruktiven Beschreibung von Bauteilen, Baugruppen oder Maschinen und Geräten notwendigen Unterlagen und Daten

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies sind zunächst 3D-Datensätze und Zeichnungen sowie Stücklisten. Unter Umständen werden diese durch Mess- und Prüfvorschriften ergänzt. 3D-Datensätze oder Zeichnungen allein beschreiben nur in seltenen Ausnahmefällen Kunststoff-Formteile vollständig.

Anmerkung 2 zum Begriff: Weitere Informationen siehe DIN EN ISO 17450-1 und DIN EN ISO 17450-2.

3.2
Größenmaß
Abstand zwischen zwei gegenüber liegenden Punkten, deren Lage für die Messung genau definiert ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Weitere Informationen siehe DIN EN ISO 17450-1.

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Kennbuchstaben und Kurzzeichen nach DIN EN ISO 1043, DIN EN ISO 18064 und die folgenden Symbole und Abkürzungen.

4.1 Symbole

C	Toleranzmittenmaß
C_A	Toleranzmittenmaß für Formteilanwendung
C_F	Toleranzmittenmaß für Formteilmfertigung
C_W	Toleranzmittenmaß für Werkzeugkonturfertigung
D_P	weiteste Entfernung im Raum zwischen dem zu tolerierenden Element und dem Ursprung des für diese Positionstolerierung verwendeten Bezugssystems
L_F	Formteilmaß
L_W	Werkzeugkonturmaß
N_F	Nennmaß für Formteilzeichnungen
P_g	Gesamtpunktzahl
P_i	Punktbewertung der Einzeleinflüsse
T	Toleranz
t	Form- und Lagetoleranz
T_A	Formteilanwendungstoleranz
T_F	Formteilmfertigungstoleranz
T_W	Werkzeugkonturfertigungstoleranz
VS	Verarbeitungsschwindung
$VS_{\perp}$	Verarbeitungsschwindung quer zur Schmelzefließrichtung
$VS_{\parallel}$	Verarbeitungsschwindung parallel zur Schmelzefließrichtung
$VS_{\max}$	höchste Verarbeitungsschwindung
$VS_{\min}$	geringste Verarbeitungsschwindung
VS_R	mittlerer Rechenwert der Verarbeitungsschwindung
ΔL	Maßverschiebung
ΔL_A	anwendungsbedingte Maßverschiebung
ΔL_V	verarbeitungsbedingte Maßverschiebung
ΔS	Streuung der Verarbeitungsschwindung
ΔVS	Differenz aus $VS_{\perp}$ und $VS_{\parallel}$

4.2 Abkürzungen

ABF	Abnahmebedingungen der Formteilmfertigung
ABW	Abnahmebedingungen der Werkzeugfertigung
AWB	Anwendungsbedingungen
GA	Grenzabmaß
IRHD	Grad der Internationalen Gummi Härte (en: International rubber hardness degree)
IT	Grundtoleranzgrad
NW	nicht werkzeuggebundene Maße
TG	Toleranzgruppe
W	werkzeuggebundene Maße

5 Tolerierung von Kunststoff-Formteilen

5.1 Allgemeines

Bei Anwendung dieser Norm gilt der Grundsatz der Unabhängigkeit (Unabhängigkeitsprinzip) nach DIN EN ISO 8015.

Abweichungen von diesem Prinzip (wie z. B. Hüllbedingung > Size ISO 14405 © < oder ähnliche Angaben) müssen zwischen den Vertragspartnern gesondert vereinbart werden.

Formteilzeichnungen bzw. CAD-Datensätze entsprechen der Nenngeometrie. Die Toleranzen sind symmetrisch zur Nenngeometrie. Asymmetrische Toleranzen an Größenmaßen (z.B. Passmaße) müssen durch die formale Nennmaßmodifizierung auf Toleranzmittenmaß *C* in eine symmetrische Toleranzfeldlage umgewandelt werden: $100_{-0,6} \rightarrow 99,7 \pm 0,3$.

Die Vorgehensweise zur Verifikation ist eindeutig festzulegen. Insbesondere bei nicht formstabilen Teilen ist das Messkonzept von besonderer Bedeutung (Funktionsorientierung, Bezugssystem und Überbestimmung, Gravitationseinfluss, Vorspannung, etc.), siehe auch DIN ISO 10579.

Wenn nichts anderes festgelegt ist, dürfen Kunststoff-Formteile, bei denen die Allgemeintoleranzen nicht eingehalten sind, nicht automatisch zurückgewiesen werden, wenn die Funktion nicht beeinträchtigt ist.

Bei Mehrkomponententeilen muss für jedes Material die Toleranzgruppe ermittelt und als separate Allgemeintoleranz angegeben werden (z.B. harte Komponente nach TG 4, weiche Komponente nach TG 7).

Bei materialübergreifenden Größenmaßen ist das ungenauere Material Grundlage der Toleranzfestlegung.

Im Kunststoffbereich ist in der DIN EN ISO 291 als Normklima $23\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ und $50\% \pm 10\%$ relativer Luftfeuchte festgelegt. Im Schriftfeld ist der Hinweis: „Tolerierung ISO 8015 (AD) – DIN EN ISO 291:2008-08“ anzugeben.

5.2 Indirekte Tolerierung durch Allgemeintoleranzen

Für Allgemeintoleranzen gilt nur die Reihe 1 (Normalfertigung) nach Tabelle 8. Allgemeintoleranzen sind im oder am Schriftfeld anzugeben, zum Beispiel: Allgemeintoleranzen DIN 16742 – TG6.

Als Allgemeintoleranzen gelten die Profilformtoleranzen, hierzu ist ein Bezugsstellensystem festzulegen.

Sollten allgemeintolerierte Maße einer orientierenden Maßkontrolle unterzogen werden, sind diese unter Beachtung der messtechnischen Machbarkeit in der Zeichnung anzugeben.

5.3 Direkte Tolerierung durch Abmaßangabe am Nennmaß

Abnahmem Maße sind alle direkt tolerierten Merkmale. Alle Maße mit Allgemeintoleranzen, werden im Prüfprotokoll nicht berücksichtigt.

Positionstoleranzen sind keine Allgemeintoleranzen. Wenn es die Funktion erfordert, sind sie direkt in die Zeichnung einzutragen.

Für Formteilmaße mit begründet hohen Maßhaltigkeitsanforderungen muss die Maßtoleranz durch Abmaße direkt angegeben werden. Dabei ist hinsichtlich der Maßbegrenzungslinien oder -punkte zu beachten, dass es sich um Prüfmaße (Kontrollmaße, Abnahmem Maße) handelt. Aus wirtschaftlichen Gründen soll die Anzahl direkt tolerierter Maße pro Formteil möglichst gering gehalten werden.

5.4 Tolerierung von Entformungsschrägen

Entformungsschrägen (auch Aushebeschrägen) sind fertigungsbedingte Neigungen am Formteil in Entformungsrichtung beweglicher Werkzeugteile (z.B. Stempel, Schieber, Backen), die als integraler Bestandteil der Formteilzeichnungen bzw. der CAD-Datensätze vom Formteilkonstrukteur für Werkzeugkonstruktionen und Werkzeugbau sowie Teilefertigung vorgegeben sind. Konstruktiv vorgegebene Neigungsmaßdifferenzen sind nicht Bestandteil von Maßtoleranzen sowie von Form- und Lageabweichungen.

In der Spezifikation müssen für Funktionsmaße an geneigten Flächen Messpunkte festgelegt werden, um Zweipunktmaße zu definieren.

5.5 Bemaßung, Tolerierung und Messung von Radien

Zur Spezifikation von Radien müssen mindestens 90° des Kreissegmentes als messbare Kontur vorhanden sein.

ANMERKUNG Die Tolerierung von Radien kann alternativ durch Profilform erfolgen.

5.6 Spezifikation von Freiformflächen

Freiformflächen sind mit einer Profilformtoleranz zu spezifizieren. Die Verifikation ist abzustimmen.

6 Formmasseeigenschaften

6.1 Allgemeines

Diese Norm enthält keine Typenliste für Formmassen und für deren Zuordnung zu erreichbaren Fertigungsgenauigkeiten. Um ein allgemeingültiges Zuordnungsschema für die große Zahl und Vielfalt von Formmassen anzugeben, müssen genauigkeitsrelevante Eigenschaften berücksichtigt werden.

6.2 Verarbeitungsschwindung und Schwindungsanisotropie

Die Verarbeitungsschwindung (VS) ist die relative Differenz zwischen Werkzeugkonturmaß L_W bei 23 °C ± 2 K und den entsprechenden Formteilmaßen L_F 16 h bis 24 h nach der Fertigung, gelagert bis zur Messung und gemessen bei 23 °C ± 2 K und 50 % ± 10 % Luftfeuchte. Sie berechnet sich nach Gleichung (1).

$$VS = \left(1 - \frac{L_F}{L_W} \right) \times 100 [\%] \quad (1)$$

Dabei ist

L_F das Formteilmaß;

L_W das Werkzeugkonturmaß.

Die Verarbeitungsschwindung für Thermoplaste und thermoplastische Elastomere wird nach DIN EN ISO 294-4 und für Duroplaste nach ISO 2577 an Normprüfkörpern (z. B. Prüfplatten) bestimmt. Physikalische Ursachen der Verarbeitungsschwindung und die Auswirkungen von Einflussfaktoren sind in Anhang B und Anhang F angegeben.

Schwindungsanisotropie ist quantifiziert durch die Absolutdifferenz ΔVS aus Verarbeitungsschwindung quer zur Schmelzefließrichtung $VS_{\perp}$ und der Verarbeitungsschwindung parallel zur Schmelzefließrichtung $VS_{\parallel}$. Siehe Gleichung (2).

$$\Delta VS = |VS_{\perp} - VS_{\parallel}| \quad (2)$$

Physikalische Hauptursachen sind die:

- Schwindungsbehinderungen infolge unterschiedlicher thermischer Kontraktion durch erstarrte Randschichten, Materialanhäufungen und örtlich unterschiedliche Werkzeugkonturtemperaturen sowie durch den Einfluss der Formteilmgestaltung;
- Schwindungsunterschiede durch anisotrope Verstärkungsstoffe (z. B. Gewebe, Gewirke, Rovings);
- Orientierung von Füll- und Verstärkungsstoffen, Molekülen und morphologischen Strukturen durch Fließvorgänge infolge Scher- und Dehnströmungen. Insbesondere Partikelgestalt und aspect ratio (Längen-Dicken-Verhältnis bzw. Seiten-Dicken-Verhältnis) der Füll- und Verstärkungsstoffe beeinflussen die Anisotropieausprägung.

Aus den vielfältigen Einflüssen auf die Verarbeitungsschwindung und Schwindungsanisotropie ist ableitbar, dass Zahlenwerte nur als Bereichsangaben realistisch sind. Die daraus resultierende Streuung der Verarbeitungsschwindung ΔS ergibt sich aus den Extremwerten $VS_{\max}$ und $VS_{\min}$. Sie berechnet sich nach Gleichung (3).

$$\Delta S = VS_{\max} - VS_{\min} \quad (3)$$

Der Größenbereich der Schwindungsstreuung ist durch Fertigungsbedingungen (Prozessoptimierung), chargenbedingte Formmasseunterschiede, Formteilmgestaltung und Angusstechnik beeinflussbar.

Mittlere Rechenwerte der Verarbeitungsschwindung VS_R sind Vorgaben für Werkzeugkonstruktion, Bau und Abmusterung der Werkzeuge. Sie berechnet sich nach Gleichung (4).

$$VS_R = 0,5 (VS_{\max} + VS_{\min}) \quad (4)$$

Dieser Rechenwert, der Basis für die Werkzeugkonstruktion ist, wird in erster Linie vom Formteilhersteller erwartet, da dieser die Schwindung in Grenzen aktiv beeinflussen kann und meistens über entsprechende Daten verfügt. Sie können als Nebenprodukt aus Maßkontrollmessungen generiert werden. In Sonderfällen sind durch Abmusterungen mit ähnlichen Werkzeugen die Schwindungswerte zu präzisieren. Darüber hinaus kann der Formteilhersteller entsprechende Daten und Erfahrungen des Formmasseherstellers nutzen. Bei ausgeprägter Schwindungsanisotropie können die Schwindungsunterschiede durch Maßvorhaltungen im Werkzeug begrenzt berücksichtigt werden. Computergestützte Schwindungs- und Verzugsvoraussagen können unter Umständen diesbezügliche Hinweise geben.

Für die erreichbare Fertigungsgenauigkeit ist auch die Schwindungsstreuung von großer Bedeutung. Dieser Wertebereich ist nach Erfahrung des Formteilherstellers abzuschätzen.

ANMERKUNG Falls die Schwindungsanisotropie bei der Konturberechnung nicht angemessen berücksichtigt werden kann, ist mit einer größeren Schwindungsstreuung und in der Folge mit Verzug zu rechnen. Diesbezüglich ist eine rechtzeitige Abstimmung zwischen Auftraggeber und Formteilhersteller notwendig.

6.3 Formstoffsteifigkeit bzw. -härte

Das Rückverformungsverhalten (Relaxation) des Formstoffs nach der Teileentformung beeinflusst deutlich die Längenmaße. Hauptursache ist die unterschiedliche Steifigkeit bzw. Härte des Formstoffs unmittelbar nach der Entformung. Ihre Quantifizierung erfolgt durch den Ursprungs-*E*-Modul aus der Kurzzeitzugprüfung nach DIN EN ISO 527 sowie durch die Shore-Eindringhärte nach DIN EN ISO 868:2003-10 (Verfahren A und Verfahren D) oder durch die Kugeldruckhärte für Elastomere nach DIN ISO 48 (Internationaler Gummihärtegrad IRHD). Alle Prüfungen beziehen sich auf 23 °C und normal konditionierte Prüfkörper. Die erforderlichen Daten sind den Spezifikationen der Formmasselieferanten zu entnehmen.

7 Dimensionelle und geometrische Tolerierung

7.1 Dimensionelle Tolerierung

7.1.1 Toleranzgruppen für Größenmaßelemente

Um die formmasse- und verfahrensbedingte Streubreite der Fertigungstoleranzen und deren besondere Nennmaßabhängigkeit für Kunststoff-Formteile an das ISO-System für Grenzmaße und Passungen nach DIN EN ISO 286-1 und -2 näherungsweise anzupassen, wurden in Tabelle 1 neun Toleranzgruppen (TG1 bis TG9) in vier Nennmaßbereichen den ISO-Grundtoleranzgraden (IT) für werkzeuggebundene Maße zugeordnet.

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

Nennmaß mm	ISO-Grundtoleranzgrade (IT) für werkzeuggebundene Maße								
	TG1	TG2	TG3	TG4	TG5	TG6	TG7	TG8	TG9
1 bis 6	8	9	10	11	12	13	14	15	16
> 6 bis 120	9	10	11	12	13	14	15	16	17
> 120 bis 500	–	11	12	13	14	15	16	17	18
> 500 bis 1 000	–	–	13	14	15	16	17	18	N.N
Bei Nennmaßen unter 1 mm und über 1 000 mm sind die Toleranzen grundsätzlich vereinbarungspflichtig.									

ANMERKUNG Tabelle 1 ist als Hinweis für den grundsätzlichen Aufbau und Inhalt von Tabelle 2 zu verstehen. Darüber hinaus ist keine Nutzung erforderlich.

Für die praktische Anwendung sind in Tabelle 2 die zulässigen Grenzabmaße für Kunststoff-Formteile zusammengefasst.

Das Fertigungsverfahren Rotationsformen wird in die Toleranzgruppe 9 eingestuft.

Unterschiedliche Verformungen und Lageabweichungen von Werkzeugteilen bei der 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 1 und Bild 2).

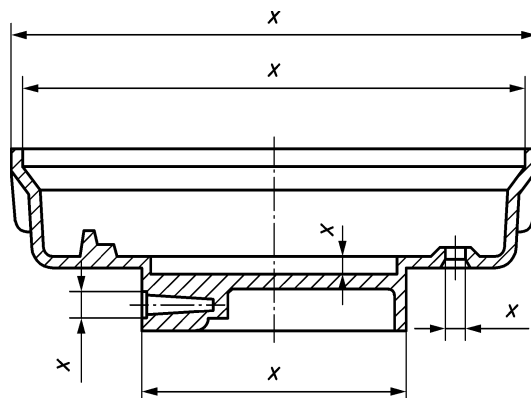
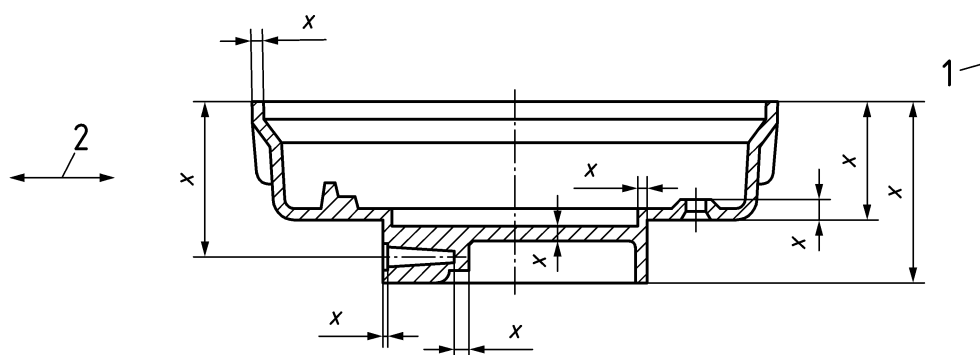


Bild 1 — Werkzeuggebundene Maße



Legende

- 1 Schließrichtung
- 2 Bewegungsrichtung des Schiebers

Bild 2 — Nicht werkzeuggebundene Maße

Tabelle 2 — Kunststoff-Formteiltoleranzen als symmetrische Grenzabmaße für Größenmaße

Maße in Millimeter

Toleranz- gruppe		Grenzabmaße (GA) für Nenngößenmaßbereiche															
		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 1 000
TG1	W	± 0,007	± 0,012	± 0,018	± 0,022	± 0,026	± 0,031	± 0,037	± 0,044	–	–	–	–	–	–	–	–
	NW	± 0,012	± 0,018	± 0,022	± 0,026	± 0,031	± 0,037	± 0,044	± 0,050	–	–	–	–	–	–	–	–
TG2	W	± 0,013	± 0,020	± 0,029	± 0,035	± 0,042	± 0,050	± 0,060	± 0,090	± 0,13	± 0,15	± 0,16	± 0,18	± 0,20	–	–	–
	NW	± 0,020	± 0,029	± 0,035	± 0,042	± 0,050	± 0,060	± 0,090	± 0,13	± 0,15	± 0,16	± 0,18	± 0,20	± 0,22	–	–	–
TG3	W	± 0,020	± 0,031	± 0,05	± 0,06	± 0,07	± 0,08	± 0,10	± 0,15	± 0,20	± 0,23	± 0,26	± 0,29	± 0,40	± 0,55	± 0,63	± 0,70
	NW	± 0,031	± 0,050	± 0,06	± 0,07	± 0,08	± 0,10	± 0,15	± 0,20	± 0,23	± 0,26	± 0,29	± 0,40	± 0,55	± 0,63	± 0,70	± 0,77
TG4	W	± 0,03	± 0,05	± 0,08	± 0,09	± 0,11	± 0,13	± 0,15	± 0,23	± 0,32	± 0,35	± 0,41	± 0,45	± 0,63	± 0,88	± 1,00	± 1,15
	NW	± 0,05	± 0,08	± 0,09	± 0,11	± 0,13	± 0,15	± 0,23	± 0,32	± 0,35	± 0,41	± 0,45	± 0,63	± 0,88	± 1,00	± 1,15	± 1,30
TG5	W	± 0,05	± 0,08	± 0,11	± 0,14	± 0,17	± 0,20	± 0,23	± 0,36	± 0,50	± 0,58	± 0,65	± 0,70	± 1,00	± 1,40	± 1,60	± 1,80
	NW	± 0,08	± 0,11	± 0,14	± 0,17	± 0,20	± 0,23	± 0,36	± 0,50	± 0,58	± 0,65	± 0,70	± 1,00	± 1,40	± 1,60	± 1,80	± 2,10
TG6	W	± 0,07	± 0,12	± 0,18	± 0,22	± 0,26	± 0,31	± 0,37	± 0,57	± 0,80	± 0,93	± 1,05	± 1,15	± 1,60	± 2,20	± 2,50	± 2,80
	NW	± 0,12	± 0,18	± 0,22	± 0,26	± 0,31	± 0,37	± 0,57	± 0,80	± 0,93	± 1,05	± 1,15	± 1,60	± 2,20	± 2,50	± 2,80	± 3,10
TG7	W	± 0,13	± 0,20	± 0,29	± 0,35	± 0,42	± 0,50	± 0,60	± 0,90	± 1,25	± 1,45	± 1,60	± 1,80	± 2,60	± 3,50	± 4,00	± 4,50
	NW	± 0,20	± 0,29	± 0,35	± 0,42	± 0,50	± 0,60	± 0,90	± 1,25	± 1,45	± 1,60	± 1,80	± 2,60	± 3,50	± 4,00	± 4,50	± 5,00
TG8	W	± 0,20	± 0,31	± 0,45	± 0,55	± 0,65	± 0,80	± 0,95	± 1,40	± 2,00	± 2,30	± 2,60	± 2,85	± 4,00	± 5,50	± 6,25	± 7,00
	NW	± 0,31	± 0,45	± 0,55	± 0,65	± 0,80	± 0,95	± 1,40	± 2,00	± 2,30	± 2,60	± 2,85	± 4,00	± 5,50	± 6,25	± 7,00	± 7,75
TG9		± 0,30	± 0,49	± 0,75	± 0,90	± 1,05	± 1,25	± 1,50	± 2,25	± 3,15	± 3,60	± 4,05	± 4,45	± 6,20	± 8,50	± 10,00	± 11,50
ANMERKUNG 1		W: werkzeuggebundene Maße; NW: nicht werkzeuggebundene Maße.															
ANMERKUNG 2		Für TG9 ist die Differenzierung von W- und NW-Maßen nicht erforderlich.															
ANMERKUNG 3		Als Nenngößenmaße für Formteilzeichnungen gelten Toleranzmittenmaße ($N_F = C_F$). Zur Tolerierung des Abstandes paralleler Flächen, die sich nicht direkt gegenüberstehen, sondern zueinander versetzt angeordnet sind, ist als Nenngößenmaß das D_F -Maß nach 7.2 dieser Norm anzuwenden.															
ANMERKUNG 4		Maße unter 1 mm und über 1 000 mm sind vereinbarungspflichtig.															
ANMERKUNG 5		Für Allgmeintoleranzen sind ausschließlich die Grenzabmaße für nicht werkzeuggebundene Maße zu verwenden.															
ANMERKUNG 6		Toleranzen für Materialdicken sind vereinbarungspflichtig.															
ANMERKUNG 7		Allgemeintoleranzen sind in den Konstruktionsdokumentationen wie folgt anzugeben. Beispiel: DIN 16742 – TG6.															
ANMERKUNG 8		Nachweis von Maschinen- oder Prozessfähigkeit siehe Anhang E.															

7.1.2 Bestimmung der Toleranzgruppen

7.1.2.1 Allgemeines

Der erforderliche Genauigkeitsgrad der Formteilmfertigung wird mit der entsprechenden Toleranzgruppe nach Tabelle 1 festgelegt. Ein orientierendes Zuordnungsschema mittels Punktbewertung von fünf Einzeleinflüssen P_i mit der Gesamtpunktzahl P_g ergibt die Toleranzgruppe nach Tabelle 3:

$$P_g = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 \quad (5)$$

Dabei ist

P_g die Gesamtpunktzahl;

P_i die Punktbewertung der Einzeleinflüsse.

Tabelle 3 — Punktzuzuordnung der Toleranzgruppen

TG	TG1	TG2	TG3	TG4	TG5	TG6	TG7	TG8	TG9
P_g	1	2	3	4	5	6	7	8	≥ 9

In Grenzbereichen der Entscheidungsfindung liegt die Toleranzgruppenzuordnung auch ohne durchgängige Punktbewertung im Verantwortungsbereich des Nutzers. Eine Abstimmung mit dem Formteilhersteller ist dann ggf. erforderlich.

7.1.2.2 Bewertung der Fertigungsverfahren und Formmasseeigenschaften (P_1 bis P_4)

Die Punktezuordnung wird mit den folgenden Bewertungsmatrizen (siehe Tabelle 4, 5, 6 und 7) durchgeführt, wobei für Grenzbereiche der Eigenschaften (P_2 bis P_4) die Bewertung im Ermessen des Anwenders liegt.

Tabelle 4 — Bewertungsmatrize 1

Fertigungsverfahren	P_1
Spritzgießen, Spritzprägen, Spritzpressen	1
Formpressen, Fließpressen	2

Tabelle 5 — Bewertungsmatrize 2

Formstoffsteifigkeit bzw. -härte			P_2
E -Modul N/mm ²	Shore D	Shore A; IRHD	
über 1 200	über 75	—	1
über 30 bis 1 200	über 35 bis 75	—	2
3 bis 30	—	50 bis 90	3
unter 3	—	unter 50	4

Tabelle 6 — Bewertungsmatrize 3

Verarbeitungsschwindung (Rechenwert)	P_3
unter 0,5 %	0
0,5 % bis 1 %	1
über 1 % bis 2 %	2
über 2 %	3
Bei Schwindungsanisotropie ist der maximale Schwindungskennwert für die Zuordnung maßgebend.	

Tabelle 7 — Bewertungsmatrize 4

Berücksichtigung der geometrie- und verfahrensbedingten Schwindungsunterschiede		P_4
genau möglich:	Rechenwerte der VS sind bekannt. (Zum Beispiel aus Erfahrungen, systematischen Messungen, Computersimulationen.) Schwindungsanisotropie ist bedeutungslos oder kann in der jeweiligen Maßrichtung hinreichend genau berücksichtigt werden. Mögliche Abweichungen vom Rechenwert betragen max. ± 10 %.	1
bedingt genau möglich:	Rechenwerte der VS sind in Bereichen max. bis ± 20 % bekannt.	2
nur ungenau möglich:	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 über ± 20 %.	3
Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass die Schwindungsschwankungen durch Variationen in den Verarbeitungsbedingungen und Unterschiede der Formmasseneigenschaften circa ± 30 % des Rechenwertes der VS betragen können. Die Auswahl $P_4 = 3$ ist zu treffen, wenn keine anderen Informationen vorliegen.		

ANMERKUNG 1 Nach der Festlegung von P_1 bis P_4 und deren Addition sollte geprüft werden, ob die konstruktiv geforderte Toleranz mit Reihe 1 (Normalfertigung) technologisch erreichbar ist. Wenn dies erfüllt ist, erübrigen sich alle weiteren Betrachtungen. Nur wenn die funktional erforderliche Toleranz nicht erreicht wird, muss die in P_5 enthaltene Erhöhung des Fertigungsaufwandes in Betracht gezogen werden.

ANMERKUNG 2 Als orientierende Zuordnungshilfe für Formmassen kann das Verfahren nach Anhang C genutzt werden. Dieses Verfahren ersetzt nicht die detaillierte Punktbewertung.

7.1.2.3 Bewertung des Fertigungsaufwandes (P_5)

Der vom Formteilhersteller notwendige Aufwand für Fertigung und Qualitätssicherung ist entscheidend für das Niveau der Fertigungsgenauigkeit. Eine Differenzierung erfolgt durch Toleranzreihen. (siehe Tabelle 8)

Tabelle 8 — Bewertung des Fertigungsaufwandes

Toleranzreihen		P_5
Reihe 1 (Normalfertigung)	Fertigung mit Allgemeintoleranzen realisiert. Maßhaltigkeitsforderungen, die keinen besonderen Qualitätsschwerpunkt bilden.	0
Reihe 2 (Genaufertigung)	Fertigung und Qualitätssicherung sind auf höhere Maßhaltigkeitsforderungen orientiert.	-1
Reihe 3 (Präzisionsfertigung)	Vollständige Ausrichtung von Fertigung und Qualitätssicherung auf die sehr hohen Maßhaltigkeitsforderungen.	-2
Reihe 4 (Präzisionssonderfertigung)	Wie Reihe 3, aber mit intensivierter Prozessüberwachung.	-3
Die Toleranzreihen 3 (Präzisionsfertigung) und 4 (Präzisionssonderfertigung) sind immer vereinbarungspflichtig.		

Zur Unterstützung der Reihenzuordnung sind in Anhang D beispielhaft Auswahlkriterien aufgeführt.

ANMERKUNG Sofern ein höheres Genauigkeitsniveau (Reihe 2, Reihe 3 und Reihe 4) bei direkt tolerierten Maßen erforderlich ist, sollte die Reihenzuordnung nach Bewertung des notwendigen Erfüllungsgrades nachstehender Fragen erfolgen:

- Sind die Formteile kunststoffgerecht konstruiert und hinsichtlich Maßhaltigkeit optimal gestaltet und dimensioniert?
- Sind die Werkzeuge funktionssicher sowie mechanisch ausreichend steif, thermisch und rheologisch ausbalanciert?
- Ermöglichen Maschinen, Anlagen und Einrichtungen sowie das Betriebspersonal einen hinreichend präzisen Fertigungsablauf einschließlich der Qualitätssicherung?
- Sind entsprechende Lieferbedingungen bezüglich des maßrelevanten Eigenschaftsniveaus der Formmassen, insbesondere der Schwindungsschwankungen, vereinbart und werden diese geprüft?

Der aktuell von Formteilhersteller zu betreibende Aufwand ergibt sich aus den geforderten Maßtoleranzen. Präzisionsfertigungen (Reihe 3 und Reihe 4) sind Sonderfälle, deren Realisierung auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht (z. B. Preiszuschläge) unter Umständen besondere Vereinbarungen zwischen Abnehmer und Hersteller der Formteile erfordern. Es soll daher nochmals nachdrücklich vermerkt werden, dass unnötig hohe Toleranzanforderungen zu unnötig großen Formteilkosten führen.

7.2 Geometrische Tolerierung

Jegliche Form- und Lagetolerierung¹⁾ sind zwischen Abnehmer und Hersteller der Formteile zu vereinbaren. Für Flächenform-, Linienform- und Positionstoleranzen gelten DIN EN ISO 1101 und DIN EN ISO 5458 in einem Bezugssystem nach DIN EN ISO 5459.

Ein Bauteil kann ein oder mehrere Bezugssysteme haben. Zur Bestimmung der Positionstoleranz ist die weiteste Entfernung des tolerierten Elements zum Ursprung des bei der Positionstolerierung verwendeten Bezugssystems (D_P) zu verwenden. Dies muss nicht mit dem Koordinatensystem vom Bauteil bzw. aus dem Zusammenbau übereinstimmen. Das D_P -Maß ist das Nennmaß zur Festlegung der Positionstoleranz nach Tabelle 9. Gleiches gilt auch für Profilformtoleranzen nach Tabelle 10.

1) Hierzu zählen insbesondere auch die Freiformflächen.

Tabelle 9 — Kunststoff-Formteiltoleranzen für Positionstoleranzen

Toleranz- gruppe		Durchmesser der zylindrischen Toleranzzonen für die D_p -Nennmaßbereiche															
		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 1 000
TG1	W	Ø 0,020	Ø 0,034	Ø 0,05	Ø 0,06	Ø 0,07	Ø 0,09	Ø 0,11	Ø 0,12	-	-	-	-	-	-	-	-
	NW	Ø 0,034	Ø 0,05	Ø 0,06	Ø 0,07	Ø 0,09	Ø 0,11	Ø 0,12	Ø 0,14	-	-	-	-	-	-	-	-
TG2	W	Ø 0,04	Ø 0,06	Ø 0,08	Ø 0,10	Ø 0,12	Ø 0,14	Ø 0,17	Ø 0,26	Ø 0,37	Ø 0,42	Ø 0,45	Ø 0,51	Ø 0,57	-	-	-
	NW	Ø 0,06	Ø 0,08	Ø 0,10	Ø 0,12	Ø 0,14	Ø 0,17	Ø 0,26	Ø 0,37	Ø 0,42	Ø 0,45	Ø 0,51	Ø 0,57	Ø 0,62	-	-	-
TG3	W	Ø 0,06	Ø 0,09	Ø 0,14	Ø 0,17	Ø 0,20	Ø 0,23	Ø 0,28	Ø 0,42	Ø 0,57	Ø 0,65	Ø 0,74	Ø 0,82	Ø 1,1	Ø 1,6	Ø 1,8	Ø 2,0
	NW	Ø 0,09	Ø 0,14	Ø 0,17	Ø 0,20	Ø 0,23	Ø 0,28	Ø 0,42	Ø 0,57	Ø 0,65	Ø 0,74	Ø 0,82	Ø 1,1	Ø 1,6	Ø 1,8	Ø 2,0	Ø 2,2
TG4	W	Ø 0,08	Ø 0,14	Ø 0,23	Ø 0,25	Ø 0,31	Ø 0,37	Ø 0,42	Ø 0,65	Ø 0,90	Ø 1,0	Ø 1,2	Ø 1,3	Ø 1,8	Ø 2,5	Ø 2,8	Ø 3,3
	NW	Ø 0,14	Ø 0,23	Ø 0,25	Ø 0,31	Ø 0,37	Ø 0,42	Ø 0,65	Ø 0,90	Ø 1,0	Ø 1,2	Ø 1,3	Ø 1,8	Ø 2,5	Ø 2,8	Ø 3,3	Ø 3,7
TG5	W	Ø 0,14	Ø 0,23	Ø 0,31	Ø 0,40	Ø 0,48	Ø 0,57	Ø 0,65	Ø 1,0	Ø 1,4	Ø 1,6	Ø 1,8	Ø 2,0	Ø 2,8	Ø 4,0	Ø 4,5	Ø 5,1
	NW	Ø 0,23	Ø 0,31	Ø 0,40	Ø 0,48	Ø 0,57	Ø 0,65	Ø 1,0	Ø 1,4	Ø 1,6	Ø 1,8	Ø 2,0	Ø 2,8	Ø 4,0	Ø 4,5	Ø 5,1	Ø 5,9
TG6	W	Ø 0,20	Ø 0,34	Ø 0,51	Ø 0,62	Ø 0,74	Ø 0,88	Ø 1,1	Ø 1,6	Ø 2,3	Ø 2,6	Ø 3,0	Ø 3,3	Ø 4,5	Ø 6,2	Ø 7,1	Ø 7,9
	NW	Ø 0,34	Ø 0,51	Ø 0,62	Ø 0,74	Ø 0,88	Ø 1,1	Ø 1,6	Ø 2,3	Ø 2,6	Ø 3,0	Ø 3,3	Ø 4,5	Ø 6,2	Ø 7,1	Ø 7,9	Ø 8,8
TG7	W	Ø 0,37	Ø 0,57	Ø 0,82	Ø 1,0	Ø 1,2	Ø 1,4	Ø 1,7	Ø 2,6	Ø 3,5	Ø 4,0	Ø 4,5	Ø 5,0	Ø 7,4	Ø 10,0	Ø 11,3	Ø 13,0
	NW	Ø 0,57	Ø 0,82	Ø 1,0	Ø 1,2	Ø 1,4	Ø 1,7	Ø 2,6	Ø 3,5	Ø 4,0	Ø 4,5	Ø 5,0	Ø 7,4	Ø 10,0	Ø 11,3	Ø 13,0	Ø 14,0
TG8	W	Ø 0,57	Ø 0,88	Ø 1,3	Ø 1,6	Ø 1,8	Ø 2,3	Ø 2,7	Ø 4,0	Ø 5,7	Ø 6,5	Ø 7,4	Ø 8,0	Ø 11,3	Ø 16,0	Ø 18,0	Ø 20,0
	NW	Ø 0,88	Ø 1,3	Ø 1,6	Ø 1,8	Ø 2,3	Ø 2,7	Ø 4,0	Ø 5,7	Ø 6,5	Ø 7,4	Ø 8,0	Ø 11,3	Ø 16,0	Ø 18,0	Ø 20,0	Ø 22,0
TG9		Ø 0,85	Ø 1,4	Ø 2,1	Ø 2,6	Ø 3,0	Ø 3,5	Ø 4,2	Ø 6,4	Ø 9,0	Ø 10,0	Ø 11,5	Ø 13,0	Ø 18,0	Ø 24,0	Ø 28,0	Ø 33,0
ANMERKUNG 1		W: werkzeuggebundene Maße; NW: nicht werkzeuggebundene Maße.															
ANMERKUNG 2		Für TG9 ist die Differenzierung von W- und NW-Maßen nicht erforderlich.															
ANMERKUNG 3		Maße unter 1 mm und über 1 000 mm sind vereinbarungspflichtig.															
ANMERKUNG 4		Nachweis von Maschinen- oder Prozessfähigkeit siehe Anhang E.															

Zur Berücksichtigung der Formteileigenschaften sollten für die Linien- und Flächenformtoleranzen die Voraussetzungen $P_2 = 1$ und $P_3 + P_4 \leq 3$ gelten (siehe Tabelle 5, 6 und 7).

Für Allgemeintoleranzen für Profilformflächen sind die erfahrungsgemäßen Toleranzwerte t aus Tabelle 10 in Abhängigkeit vom D_P -Nennmaß zu verwenden.

Tabelle 10 — Allgemeintoleranzen für Profilformen

D_P -Nennmaß	Maße in Millimeter				
	≤ 30	> 30 bis 100	> 100 bis 250	> 250 bis 400	> 400 bis 1 000
Toleranzwert t	0,5	1	2	4	6

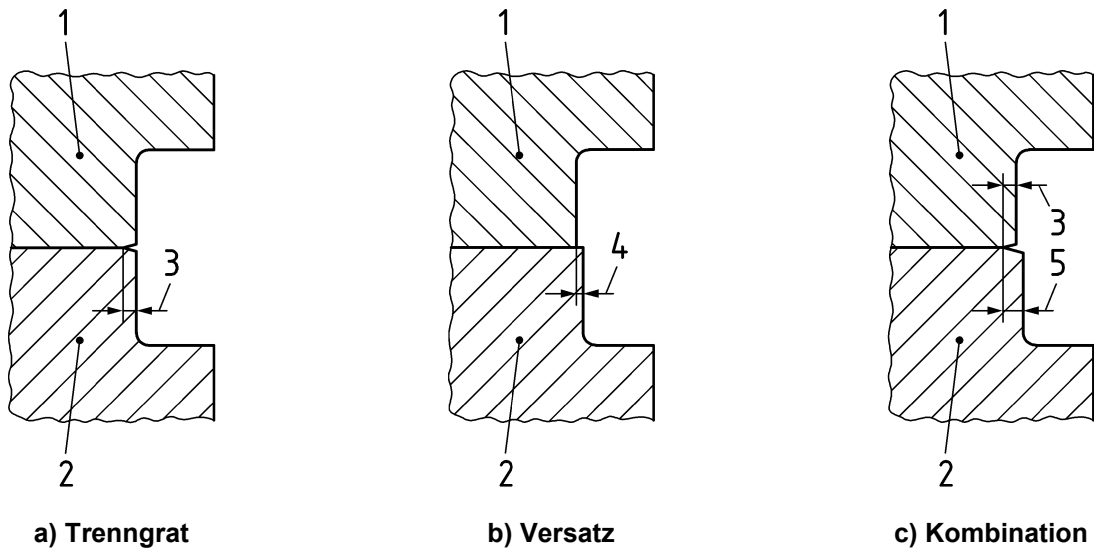
7.3 Trenngrat/Werkzeugversatz

Grundsätzlich sind bei der Herstellung von Kunststoffteilen im Urformprozess sichtbare Trennlinien nicht zu vermeiden. Die Lage der Trennlinien ist zwischen Hersteller und Abnehmer zu vereinbaren. Dabei muss zwischen einem Trenngrat und einem Trennungsversatz unterschieden werden. (siehe Bild 3)

Die wesentlichen Beeinflussungsfaktoren für den Trenngrat sind:

- Formteilkonstruktion;
- Viskosität der Kunststoffe im Verarbeitungszustand;
- Verarbeitungsparameter (im wesentlichen Schmelztemperatur, Werkzeugkonturtemperatur, Einspritzgeschwindigkeit, Werkzeuginnendruck, Werkzeughaltezeit und Lage des Umschaltpunktes);
- Qualität der Formtrennung im Werkzeug (Genauigkeit der mechanischen Bearbeitung, Härte der konturgebenden Formelemente, Standzeit des Werkzeuges).

Dagegen wird die Größe des sichtbaren Formversatzes durch die Präzision bei der Herstellung der Werkzeuge und der Zentrierpräzision der Verarbeitungsmaschine beeinflusst.



Legende

- 1 Werkzeugelement 1
- 2 Werkzeugelement 2
- 3 Trennkrat
- 4 Versatz
- 5 Trennkrat + Versatz

Bild 3 — Trennkrat/Werkzeugversatz

Im Regelfall treten immer Kombinationen aus beiden Trennungsstörungen auf (siehe Bild 3 c)).

Hierbei ist in Funktions- und untergeordnete Bereiche zu unterscheiden.

Es sind grundsätzlich für funktionelle und untergeordnete Bereich die notwendigen Formtrennungsbedingungen in Größe und Lage zu definieren. Für die Symbolik ist die DIN EN ISO 10135 zu verwenden.

7.4 Tolerierung von Winkelmaßen

Direkt tolerierte Winkel und Kanten sind vereinbarungspflichtig.

Alle nicht direkt tolerierten Winkel und Kanten sind bei der Verifikation zu vernachlässigen.

7.5 Toleranzanalyse von Maßketten

Die klassische Toleranzkettenrechnung setzt starre Körper voraus und ist aus diesem Grund für Kunststoffteile überwiegend ungeeignet. Bei Toleranzanalysen von Maßketten nicht formsteifer Teile können für Konstruktionen mit geringer Steifigkeit Kettenglieder als verformbare Kompensationsglieder zum Toleranzausgleich genutzt werden.

8 Abnahmebedingungen der Formteilmfertigung (ABF)

Für normative Abnahmebedingungen gelten die Prüfmaße als Abnahmewerte, wenn die Formteile nach der Fertigung bis zur Abnahme bei $23\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ und $50\% \pm 10\%$ relative Luftfeuchte gelagert sowie frühestens 16 h und spätestens 72 h nach der Herstellung geprüft werden.

Sofern von den oben genannten Abnahmebedingungen beim Teilehersteller abgewichen wird, müssen die Abnahmeparameter zwischen Hersteller und Abnehmer gesondert vereinbart und dokumentiert werden (z. B. im oder am Schriftfeld mit dem Hinweis: Tolerierung ISO 8015 (AD) – „Vereinbarungsdokument“):

- Maßlage und Maßabweichungen (ggf. nach Erprobung);
- 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);
- Teilenachbehandlung durch Tempern (Vorwegnahme der Nachschwindung, Ausgleich innerer Spannungen, Nachhärten) oder Folgeoperationen mit deutlicher thermischer Teilebeanspruchung (Lackieren, Lötbadbehandlung u. a.);
- Teilenachbehandlung 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).