



## KUNSTSTOFFGERECHTE TOLERANZEN



**Konstruieren mit technischen Kunststoffen**

## 1 Werkstoffgerechte Toleranzen für spangebend hergestellte Konstruktionsteile aus Kunststoff

Häufig werden Kunststoffe als Ersatz für konventionelle Werkstoffe in bestehende Konstruktionen integriert. In der Regel erfolgt eine Änderung der Fertigungskennzeichnung aber nur hinsichtlich des neuen Materials. Oft werden die für das Stahlbauteil gewählten Toleranzen nicht an den neuen Werkstoff angepasst. Aber bei Neukonstruktionen, für die Kunststoff als Werkstoff vorgesehen wird, werden häufig die im Stahlbau üblichen Toleranzfelder verwendet. Die Besonderheiten des Kunststoffs schließen jedoch die Wahl von engen Fertigungstoleranzen, wie sie bei Stahlbauteilen üblich sind, weitgehend aus.

Entscheidend dafür ist nicht die Haltbarkeit, denn diese ist durch den Einsatz von modernen CNC-gesteuerten Werkzeugmaschinen weitgehend unproblematisch, sondern die dauerhafte Einhaltung der Toleranzen nach der Fertigung. Dies gilt insbesondere für Passmaße mit sehr engen Toleranzfeldern ( $< 0,1$  mm). Diese können sich infolge des viskoelastischen Verhaltens der Kunststoffe schon nach dem Abspannen des Werkstücks vom Maschinentisch verändern. Insbesondere die größere Wärmedehnung, die Volumenänderung durch Feuchtaufnahme wie auch die Form- und Maßänderungen durch Relaxation von fertigungsbedingten Restspannungen im Material sind als Ursachen dafür zu nennen.

Erschwerend kommt hinzu, dass bis zum jetzigen Zeitpunkt kein allgemeingültiges Normwerk für die kunststoffgerechte Tolerierung von spangebend hergestellten Konstruktionsteilen geschaffen wurde. Die fehlende gemeinsame Basis für die werkstoffgerechte Tolerierung solcher Teile führt hinsichtlich der Einstufung als Ausschussteil bzw. mangelhafte Lieferung häufig zu verschiedenen Auffassungen zwischen Kunde und Lieferant. Durch die Auswahl eines werkstoffgerechten Toleranzfeldes lassen sich diese Diskussionen vermeiden und die Funktionstüchtigkeit und Betriebssicherheit von Kunststoffbauteilen gewährleisten.

Die folgenden Abschnitte basieren auf langjährigen Erfahrungen mit den verschiedenen Kunststoffen und sollen den Konstrukteuren bei der Festlegung der Toleranzen helfen. Ziel ist es dabei, eine einheitliche Basis zu schaffen und Kosten durch Ausschuss aufgrund nicht werkstoffgerechter Tolerierung zu vermeiden.

Die empfohlenen Toleranzfelder sind mit dem üblichen Fertigungsverfahren und ohne zusätzlichen Aufwand zu erreichen. Im Allgemeinen werden die Funktionstüchtigkeit und Betriebssicherheit der Bauteile durch die vergrößerte Toleranz nicht eingeschränkt. Engere Toleranzen als die angegebenen sind bis zu gewissen Grenzen machbar, erfordern aber einen ungleich höheren Aufwand bei der Bearbeitung und eine notwendige Zwischenbehandlung des Werkstoffs (Tempern) während der Fertigung. Müssen Konstruktionsteile mit Toleranzfeldern  $< 0,1$  mm oder Passungen der ISO-Reihen IT 9 und kleiner versehen werden, sind wir gerne bereit, bei der Auswahl eines technisch und wirtschaftlich sinnvollen und einhaltbaren Toleranzfeldes beratend zu helfen.

## 2 Kunststoffgerechte Toleranzen

### 2.1 Allgemeintoleranzen

Die Allgemeintoleranzen für Freimaße können nach der DIN ISO 2768 T1, Toleranzklasse „m“, gewählt werden.

Darin sind die Toleranzen wie folgt festgelegt:

Toleranz-klasse	Nennmaßbereich in mm							
	0,5 bis 3	über 3 bis 6	über 6 bis 30	über 30 bis 120	über 120 bis 400	über 400 bis 1000	über 1000 bis 2000	über 2000 bis 4000
f (fein)	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	-
m (mittel)	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2,0
g (grob)	± 0,15	± 0,2	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2,0	± 3,0	± 4,0
v (sehr grob)	-	± 0,5	± 1,0	± 1,5	± 2,5	± 4,0	± 6,0	± 8,0

Tabelle 1: Grenzmaßtabelle in mm für Längenmaße (DIN ISO 2768 T1)

Toleranz-klasse	Nennmaßbereich in mm		
	0,5 bis 3	über 3 bis 6	über 6
f (fein)	± 0,2	± 0,5	± 1,0
m (mittel)	± 0,2	± 0,5	± 1,0
g (grob)	± 0,4	± 1,0	± 2,0
v (sehr grob)	± 0,4	± 1,0	± 2,0

Tabelle 2: Grenzabmaße in mm für Rundungshalbmesser und Fasenhöhen (DIN ISO 2768 T1)

Toleranz-klasse	Nennmaßbereich des kürzeren Schenkels in mm				
	bis 10	über 10 bis 50	über 50 bis 120	über 120 bis 400	über 400
f (fein)	± 1°	± 30'	± 20'	± 10'	± 5'
m (mittel)	± 1°	± 30'	± 20'	± 10'	± 5'
g (grob)	± 1° 30'	± 1°	± 30'	± 15'	± 10'
v (sehr grob)	± 3°	± 2°	± 1°	± 30'	± 20'

Tabelle 3: Grenzabmaße in Winkleinheiten für Winkelmaße (DIN ISO 2768 T1)

Für Längenmaße ist in Sonderfällen die Wahl der Toleranzklasse „f“ möglich. Die dauerhafte Einhaltbarkeit der Toleranz, bezogen auf die Werkstückgeometrie, sollte aber unbedingt in Absprache mit dem Hersteller des Konstruktionsteils überprüft werden.

## 2.2 Form und Lage

Die Allgemeintoleranzen für Freimaße können nach der DIN ISO 2768 T2, Toleranzklasse „K“, gewählt werden.

Darin sind die Toleranzen wie folgt festgelegt:

Toleranz- klasse	Nennmaßbereich in mm					
	bis 10	über 10 bis 30	über 30 bis 100	über 100 bis 300	über 300 bis 1000	über 1000 bis 3000
H	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
K	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
L	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6

Tabelle 4: Allgemeintoleranzen für Geradheit und Ebenheit (DIN ISO 2768 T2)

Toleranz- klasse	Nennmaßbereich in mm			
	bis 100	über 100 bis 300	über 300 bis 1000	über 1000 bis 3000
H	0,2	0,3	0,4	0,5
K	0,4	0,6	0,8	1,0
L	0,6	1,0	1,5	2,0

Tabelle 5: Allgemeintoleranzen für Rechtwinkligkeit (DIN ISO 2768 T2)

Toleranz- klasse	Nennmaßbereich in mm			
	bis 100	über 100 bis 300	über 300 bis 1000	über 1000 bis 3000
H	0,5			
K	0,6		0,8	1,0
L	0,6	1,0	1,5	2,0

Tabelle 6: Allgemeintoleranzen für Symmetrie (DIN ISO 2768 T2)

Die Allgemeintoleranz für Rund- und Planlauf für die Klasse „K“ beträgt 0,2 mm.

Für Form und Lage ist in Sonderfällen die Wahl der Toleranzklasse „H“ möglich. Die Allgemeintoleranz für Rund- und Planlauf für die Klasse „H“ beträgt 0,1 mm. Die dauerhafte Einhaltbarkeit der Toleranz, bezogen auf die Werkstückgeometrie, sollte aber unbedingt in Absprache mit dem Hersteller des Konstruktionsteils überprüft werden.

## 2.3 Passungen

Wie bereits eingangs beschrieben, ist die Anwendung des ISO-Toleranzsystems mit den bei Stahlbauteilen üblichen Toleranzfeldern nicht möglich. Damit ist von der Verwendung der Toleranzreihen IT 01 - 9 abzusehen. Zudem muss bei der Bestimmung der richtigen Toleranzreihe sowohl das Bearbeitungsverfahren als auch der verwendete Kunststoff berücksichtigt werden.

## 2.3.1 Maßkategorien

Die verschiedenen Kunststoffe können entsprechend ihrer Maßhaltigkeit in zwei Kategorien unterteilt werden. Diese sind in der Tabelle 7 dargestellt.

Maßkategorie	Kunststoffe	Bemerkung
A	POM, PET, PTFE+Glas, PTFE+Bronze, PTFE+Kohle, PC, PVC-U, PVDF, PP-H, PEEK, PEI, PSU, (HGW (Hartgewebe))	Thermoplaste mit oder ohne Verstärkungs-/Füllstoffen (mit geringer Feuchtigkeitsaufnahme)
B	PE-HD, PE-HMW, PE-UHMW, PTFE, PA 6, PA 6 G, PA 66, PA 12	weiche Thermoplaste und Polyamide mit Feuchtigkeitsaufnahme

Tabelle 7: Maßkategorien für Kunststoffe

## 2.3.2 Zuordnung der Toleranzreihen für Frästeile

Zuordnung für Frästeile mit Toleranzangaben.

Maßkategorie: 

<b>A</b>
<b>B</b>

 IT 10 - 11  
IT 11 - 12

Nennmaßbereich mm	ISO – Toleranzreihe (IT)											
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
von bis 1-3	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	
über bis 3-6	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	
über bis 6-10	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	
über bis 10-18	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	
über bis 18-30	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	
über bis 30-50	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	
über bis 50-80	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	
über bis 80-120	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	
über bis 120-180	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	
über bis 180-250	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	
über bis 250-315	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	
über bis 315-400	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	
über bis 400-500	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	

Tabelle 8: ISO-Grundtoleranzen in µm nach DIN ISO 286

## 2.3.3 Zuordnung der Toleranzreihen für Drehteile

Zuordnung für Frästeile mit Toleranzangaben.

Maßkategorie: 

<b>A</b>
<b>B</b>

 IT 10 - 12  
IT 11 - 12

Nennmaß- bereich mm	ISO – Toleranzreihe (IT)											
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
von bis 1-3	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	
über bis 3-6	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	
über bis 6-10	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	
über bis 10-18	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	
über bis 18-30	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	
über bis 30-50	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	
über bis 50-80	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	
über bis 80-120	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	
über bis 120-180	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	
über bis 180-250	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	
über bis 250-315	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	
über bis 315-400	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	
über bis 400-500	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	

Tabelle 9: ISO-Grundtoleranzen in µm nach DIN ISO 286

## 2.4 Oberflächengüte

Die erreichbaren Rauigkeitsgrade sind vom Bearbeitungsverfahren abhängig. In Tabelle 10 sind die ohne zusätzlichen Aufwand realisierbaren Oberflächengüten für die einzelnen Bearbeitungsverfahren aufgeführt.

Bearbeitungsart	max. erreichbarer Rauigkeitsgrad	Mittenrauwert $R_a$ (µm)	gemittelte Rautiefe $R_z$ (µm)
Fräsen	N/	1,6	8
Drehen	N7	1,6	8
Hobeln	N8	3,2	16
Sägen	N8	3,2	16

Tabelle 10: Erreichbare Oberflächengüten für verschiedene Bearbeitungsverfahren

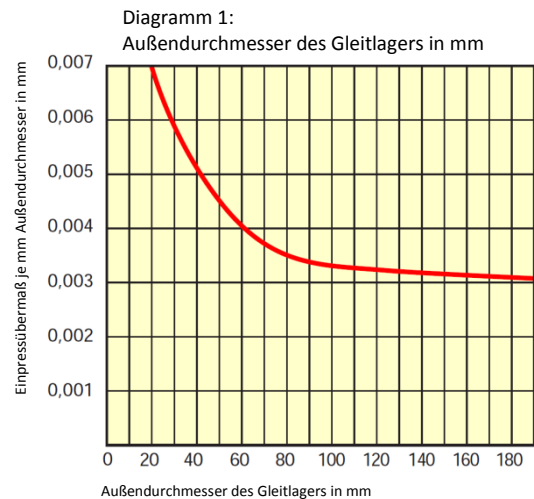
In Verbindung mit einem höheren Fertigungsaufwand sind auch bessere Oberflächengüten als die in Tabelle 10 enthaltenen möglich. Die Herstellbarkeit unter Beachtung des eingesetzten Kunststoffes und des Bearbeitungsverfahrens sollte aber unbedingt in Absprache überprüft werden.

## 2.5 Toleranzen für Pressitzpassungen

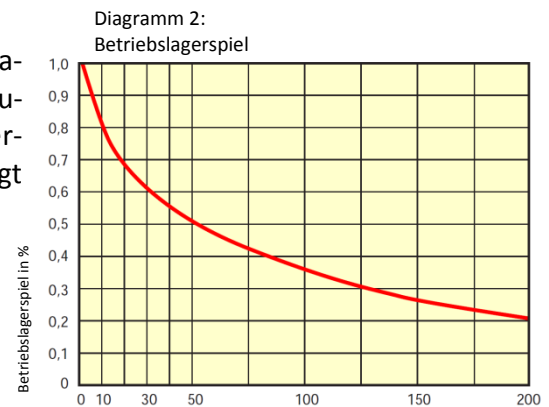
### 2.5.1 Einpressübermaße für Buchsen

Für die sichere Befestigung von Gleitlagerbuchsen in der Lagerbohrung hat sich das Einpressen mit Übermaß bewährt. Im Vergleich zu metallischen Lagerbuchsen sind die Übermaße von Kunststoffbuchsen sehr groß. Aufgrund des viskoelastischen Verhaltens der Kunststoffe ist dies speziell unter Wärmeeinwirkung jedoch notwendig, da sich sonst die Lagerbuchse in der Bohrung lösen würde.

Liegen die Einsatztemperaturen bei max. 50°C kann unter Beachtung der Einpressübermaße aus Diagramm 1 auf eine zusätzliche Sicherung der Lagerbuchse verzichtet werden. Bei Temperaturen über 50°C empfehlen wir die Sicherung durch ein im Maschinenbau übliches Sicherungselement (z.B. Sicherungsringe nach DIN 472).



Weiterhin ist zu beachten, dass beim Einpressen der Lagerbuchse das Übermaß dazu führt, dass die Buchse zusammengedrückt wird. Daher muss der Betrag des Übermaßes als Zuschlag zum Betriebslagerspiel berücksichtigt und der Lagerinnendurchmesser entsprechend größer gewählt werden. Aus Diagramm 2 kann das erforderliche Betriebslagerspiel in Abhängigkeit vom Lagerinnendurchmesser entnommen werden.



Hinsichtlich der Bemaßung von dünnwandigen Lagerbuchsen, Ringen und ähnlichen Bauteilen ist anzumerken, dass es bei der Maßkontrolle aufgrund der aufgebrachten Messkräfte und der dadurch hervorgerufenen Verformung zu falschen Messergebnissen kommen kann. Es empfiehlt sich daher die in Abbildung 1 dargestellte Tolerierung des Außendurchmessers und der Wandstärke.

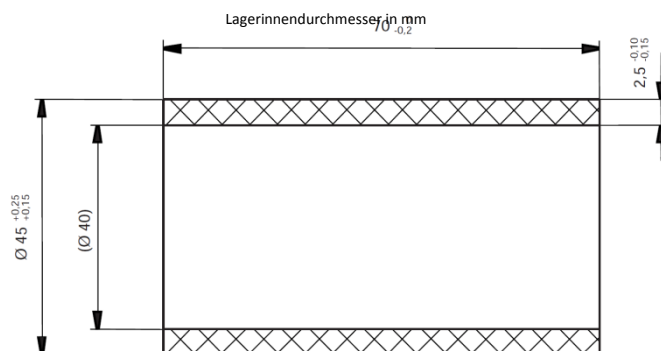
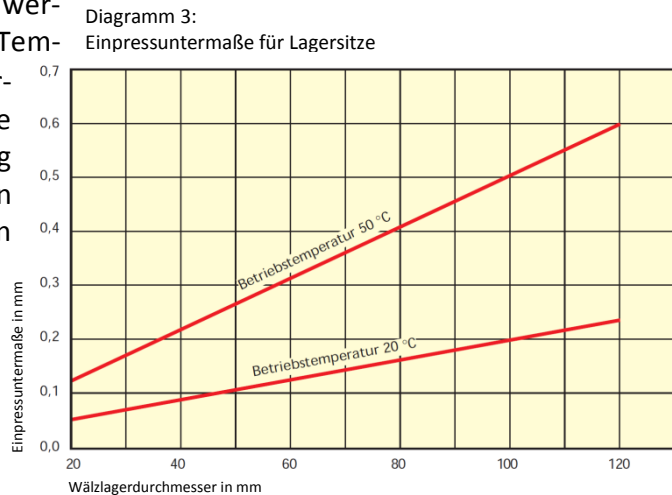


Abbildung 1: Beispiel für die Tolerierung einer Lagerbuchse

## 2.5.2 Einpressübermaße für Buchsen

Wälzlager können bei Einsatztemperaturen bis 50°C direkt in den mit Untermaß gefertigten Lagersitz eingepresst werden. Die Sicherung des Lagers ist bei niedrigen Belastungen und Einsatztemperaturen nicht zwingend notwendig, empfiehlt sich aber in jedem Fall bei höheren Belastungen und Einsatztemperaturen. Auch hier liegt die Ursache dafür im viskoelastischen Verhalten der Kunststoffe, was zum Nachlassen der Presskraft und dem Auswandern des Lagers führen kann. Zur Sicherung können ebenfalls die im Maschinenbau üblichen Sicherungselemente (z.B. Sicherungsringe nach DIN 472) verwendet werden. Bei Einsatz in Bereichen mit hohen Temperaturen oder Belastungen besteht alternativ die Möglichkeit, einen Stahlring in die Lagerbohrung einzusetzen. Dieser Stahlring wird mit zusätzlichen Sicherungselementen in der Lagerbohrung fixiert und das Lager in diesen Ring eingepresst.

In Diagramm 3 sind die notwendigen temperaturabhängigen Untermaße zur Befestigung des Lagers im Lagersitz durch Einpressen dargestellt.



Für Lagersitze, in die Wälzlager zum Betrieb unter normalen Temperatur- und Belastungsbedingungen eingepasst werden sollen, empfehlen wir die folgenden Einpressuntermaße und Toleranzen:

Lagersitzdurchmesser bis 50 mm	⇒	-0,15 / -0,25 mm
Lagersitzdurchmesser über 50 mm bis 120 mm	⇒	-0,25 / -0,35 mm
Lagersitzdurchmesser über 120 mm	⇒	-0,40 / -0,50 mm

Die so gefertigten Lagersitze zeigen nach unseren Erfahrungen kein übermäßiges Nachlassen der Presskraft und sind in der Lage, die Wälzlager sicher in Ihrer Position zu halten. Bei der Anwendung dieser Empfehlung ist jedoch zu beachten, dass es bei extrem kleinen Verhältnissen von Lagersitzdurchmesser zu Außendurchmesser trotz der Einhaltung unserer Empfehlungen zu Loslösungen des Lagers kommen kann. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die durch das Einpressen hervorgerufenen Spannungen zu einer Längung des verbliebenen Materials führen. Infolgedessen wird der Lagersitzdurchmesser größer und die erforderliche Presskraft zur Fixierung des Lagers kann nicht mehr aufrecht erhalten werden. Begünstigt wird dieses Verhalten durch hohe Temperaturen und/oder die im Betrieb auftretende Walkarbeit. Abhilfe kann durch die beschriebenen Sicherungsmaßnahmen getroffen werden.

## 3 Allgemeine Hinweise

Die genannten Grundtoleranzen und Abmaße sind dauerhaft nur unter Normklima (23°C/ 50 rel. Luftfeuchte) einhaltbar. Unter anderen Umgebungsbedingungen müssen diese durch entsprechende Korrekturfaktoren berücksichtigt werden. Diese können den vorangegangenen Kapiteln für den jeweiligen Anwendungsfall entnommen werden.

### 3.1 Maß- und Volumenänderung bei Temperatureinfluss

Allgemein gilt: die Längenänderung durch Temperatureinfluss beträgt ca. 0,1% pro 10 K Temperaturänderung. Zusätzlich ist bei Polyamiden eine Volumenänderung durch Feuchtigkeitsaufnahme von ca. 0,15 - 0,20% pro 1% aufgenommenem Wasser zu berücksichtigen.

Unter Beachtung der werkstoffspezifischen Längenausdehnungskoeffizienten könne die zu erwartenden Längenausdehnungen und Volumenänderungen bei Temperaturschwankungen näherungsweise rechnerisch ermittelt werden.

Damit wird die zu erwartende Längenausdehnung zu

$$\Delta l = l \cdot \alpha \cdot (v_1 - v_2) [mm]$$

mit

- $\Delta l$  = zu erwartende Längenausdehnung
- $l$  = Ausgangslänge in mm
- $\alpha$  = werkstoffspezifischer Längenausdehnungskoeffizient
- $v_1$  = Einbautemperatur in °C
- $v_2$  = Betriebstemperatur in °C

Die zu erwartende Volumenänderung errechnet sich unter der Voraussetzung, dass die Ausdehnung in keine Richtung geändert wird, aus:

$$\Delta V = V \cdot \beta \cdot (v_2 - v_1) [mm^3]$$

und

$$\beta = 3 \cdot \alpha$$

mit

- $\Delta V$  = zu erwartende Volumenänderung
- $V$  = Ausgangsvolumen in mm<sup>3</sup>
- $\alpha$  = werkstoffspezifischer Längenausdehnungskoeffizient
- $\beta$  = werkstoffspezifischer Volumenausdehnungskoeffizient
- $v_1$  = Einbautemperatur in °C
- $v_2$  = Betriebstemperatur in °C

Die werkstoffspezifischen Längenausdehnungskoeffizienten können aus der Tabelle 11 entnommen werden.

Werkstoff	Kurzzeichen	Ausdehnungskoeffizient $\alpha \cdot 10^{-5} \cdot K^{-1}$
Polyamid 6 Guss	PA 6 G	7
Polyamid 6 Guss CC	PA 6 G-CC	8
Oilamid	PA 6 G + Öl	7
Calamid 612	PA 6/12 G	8
Calamid 1200	PA 12 G	10
Polyamid 6	PA 6	9
Polyamid 6 + 30% Glasfaser	PA 6 GF30	3
Polyamid 66	PA 6	10
Polyamid 12	PA 12	12
Polyacetal	POM-C	10
Polyacetal GF-gefüllt	POM-C-GF30	2,5
Polyethylenterephthalat	PET	7
Polyethylenterephthalat + Gleitzusatz	PET-GL	8
Polytetraflourethylen	PTFE	19
Polytetraflourethylen + 25% Glasfaser	PTFE-GF25	13
Polytetraflourethylen + 25% Kohle	PTFE-K25	11
Polytetraflourethylen + 40% Bronze	PTFE-B40	10
Polyethylen 500	PE-HMW	18
Polyethylen 1000	PE-UHMW	18
Polythereterketon	PEEK	4
Polythereterketon modifiziert	PEEK-GL	3
Polysulfon	PSU	6
Polyetherimid	PEI	6

## 3.2 Geometrische Formen

Durch die geometrischen Verhältnisse eines Werkstücks kann es zu Maß- und Formveränderungen nach der Bearbeitung kommen. Daher muss entweder die geometrische Form geändert oder es müssen die empfohlenen Toleranzreihen bei Werkstücken mit extremen geometrischen Form- und Wandstärkenverhältnissen wie z.B. starke einseitige Spanabnahme, extrem dünne Wandstärken, starke Wandstärkenunterschiede, entsprechend angepasst werden. Sollte es bei der Festlegung der geometrischen Form oder von Maß-, Form- und Lagetoleranzen zu Unsicherheiten kommen, stehen wir für eine Beratung gerne zur Verfügung.

## 3.3 Geometrische Formen

Enge Toleranzen sind bei Kunststoffwerkstücken, insbesondere bei dünnwandigen Teilen, nur schwer messbar. Der über das Messwerkzeug auf das Werkstück ausgeübte Druck kann zur Verformungen des Kunststoffteils führen, oder durch den niedrigen Reibwert von Kunststoffen wird das Anzugsmoment von Messschrauben verfälscht. Dies führt zwangsläufig zu falschen Messwerten. Daher ist der Einsatz von berührungslosen Messsystemen zu bevorzugen.



Igepa-Ring 11a  
06188 Queis

Tel.: (03 46 02) 70 70 – 0  
Fax.: (03 46 02) 70 70 – 10  
info@hawi-tec.com  
www.HaWi-Tec.com