

reibunglos. gut. beraten.

 **Murtfeldt**
KUNSTSTOFFE



MATERIAL- UND FERTIGUNGSGERECHTE TOLERANZEN

**für die spanabhebende Bearbeitung
von Kunststoffen**

Empfehlungen und Wissenswertes zur mechanischen Fertigung und zur Handhabung von Fertigteilen aus Kunststoff

1. Allgemeines

Kunststoffe unterliegen anderen physikalischen Gesetzmäßigkeiten als Metalle. Vor allem die wesentlich größere Wärmedehnung und die Volumenänderung durch Feuchtigkeitsaufnahme von bis zu 10 % (bei Wasserlagerung) grenzen die Gewährleistung enger Maßtoleranzen (1/100 – 1/1000 mm), wie sie für Metalle üblich sind, aus. Da aber bis heute in keinem Normenwerk Toleranzangaben für spanend bearbeitete Kunststoffteile geschaffen wurden, bedient sich der Konstrukteur zwangsläufig der für Metalle üblichen ISO-Toleranzen. Obwohl die Bearbeitung auf den gleichen Präzisionsmaschinen, wie sie bei der Metallverarbeitung verwandt werden, erfolgt, muss der Konstrukteur nachträglich Dimensionsveränderungen und Verzug durch Abbau von inneren Spannungen berücksichtigen.

Dieser Umstand führt naturgemäß zu unliebsamen Diskussionen, Ärger und nicht zuletzt zur Reklamation der Ware. Solche vorprogrammierten „Ausschuss“-Teile sind selbst bei optimalen Bedingungen nicht immer zu vermeiden.

Aus diesen Gründen sollten Toleranzgrößen schon bei der Konstruktion so festgelegt werden, dass die zu erwartenden nachträglichen Maßveränderungen die vorgesehene Funktion des Maschinenteiles nicht beeinträchtigen.

2. Maßliche Veränderung durch Wärmedehnung

2.1 Allgemeines

Die Einwirkung von Wärme oder Kälte auf einen Kunststoff führt zu einer Volumenänderung nach allen Seiten des Bauteiles. Diese Volumenänderung ist eine Folge des unterschiedlichen Ausschwingers der Moleküle und der damit verbundenen Veränderung des mittleren Abstandes der Stoffteilchen untereinander. Die Volumenabnahme bzw. Zunahme bei technischen Kunststoffen unterliegt einer Hysterese, d. h. dass der Kunststoff eine gewisse Längung bzw. Kürzung beibehält, wenn die Raumtemperatur wieder erreicht wird. Die Größe der Volumenänderung hängt von der Art des Kunststoffes, dem Herstellungsprozess und der Temperaturdifferenz ΔT

ab. Da die Volumenänderung abhängig von der Bauteilgröße ist, wird meistens nur die bei langgestreckten Körpern stärker in Erscheinung tretende Dehnung bzw. Kürzung in der Längsrichtung bestimmt.

Thermoplastische Kunststoffe sind schlechte Wärmeleiter. Bei der Zerspanung kann es zu lokalen Überhitzungen kommen. Diese führen in der Regel zu einer Erhöhung des Spannungsniveaus und damit zum Verzug sowie zu nachträglicher Schwindung, welche der Einhaltung enger Toleranzen entgegenwirkt.

2.2 Längenausdehnung

$$(\Delta l = l_0 \times \Delta T \times \alpha)$$

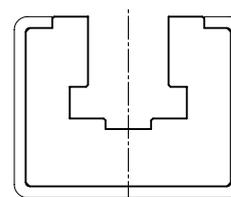
Der lineare thermische Längenausdehnungskoeffizient α ist abhängig vom jeweiligen Werkstoff und wird als mittlerer Wert gültig für einen bestimmten Temperaturbereich wie z.B. 23 bis 60°C angegeben. Er gibt an, um wie viel sich die Länge eines Kunststoffteiles vergrößert, wenn sich die Temperatur um 1°C erhöht.

Berechnungsbeispiele können Sie der Tabelle 1 entnehmen.

2.3 Volumenänderung

$$(\Delta V = V_0 \times \Delta T \times \alpha V)$$

Die Volumenzunahme eines festen Körpers bei Erwärmung ergibt sich aus der Längenzunahme, die in Richtung der Länge, Breite und Höhe erfolgt.



Die Volumenänderung wirkt sich besonders bei gekapselten Teilen aus.

Beispiel:

Kettenführung aus Werkstoff "S"[®] im Stahl-C-Profil. Bei großen Temperaturunterschieden könnte es zu einem Klemmen der Rollenkette kommen.

Material- und fertigungsgerechte Toleranzen für die spanabhebende Bearbeitung von Kunststoffen

3. Volumenänderung durch Feuchtigkeitsaufnahme

Bei der Festlegung von Toleranzen ist die Volumenänderung durch Feuchtigkeitsaufnahme hauptsächlich bei Teilen aus Polyamid zu beachten. Mit einer Feuchtigkeitsaufnahme gehen Maßveränderungen einher. Diesen Vorgang nennt man „Quellung“.

Für Polyamide kann folgende Faustformel zur Berechnung angewendet werden:

Pro 1 % (Gewichtsprozent) Feuchtigkeitsaufnahme tritt eine Quellung um ca. 0,3 % ein.

Eine kurzzeitige Veränderung der relativen Feuchtigkeit verursacht allerdings nur eine geringe Änderung des Feuchtigkeitsgehaltes der Polyamide. Daraus resultierende Maßveränderungen sind deshalb in der Regel vernachlässigbar.

Aus der Tabelle 1 und Abbildung 1 können Sie ersehen, dass Materialien wie Werkstoff "S"® oder Murytal® C einen verschwindend geringen Prozentsatz Feuchtigkeit aufnehmen. Die Feuchtigkeitsaufnahme geht in natürlicher Atmosphäre sehr langsam vor. Sie hängt im Wesentlichen von der relativen Luftfeuchtigkeit, der Umgebung und dem Kristallinitätsgrad des Materials ab.

4. Dimensionsveränderungen durch vorhandene Restspannungen

4.1 Maßveränderungen durch Abbau innerer Spannungen

Kunststoffhalbzeuge, die bei ihrem Herstellungsprozess unter Druck, speziell bei extrudierten Halbzeugen, hergestellt werden, weisen unterschiedlich große innere Spannungen auf. Diese Spannungen lösen sich bei der spanenden Bearbeitung insbesondere, wenn große Änderungen des Querschnittes erfolgen.

In solchen Fällen muss in der Fertigungsplanung eine spanabhebende Vorbehandlung mit anschließender thermischer Zwischenbehandlung (Tempern im Wärmeofen) eingeplant werden. Anschließend können die Fertigmaße hergestellt werden. Nähere Informationen zu Tempervorschriften einzelner Werkstoffe können Sie auf Anfrage von unserer Anwendungstechnik erhalten.

4.1 Dimensionsveränderungen durch die Elastizität des Werkstoffes bei der spanabhebenden Bearbeitung

Bei der spanabhebenden Bearbeitung von Kunststoffen kommt es zu Maßveränderungen durch die Elastizität des Kunststoffes.

Beispiel:

Bohrung mit Bohrer \varnothing 10,0 mm schwindet auf \varnothing 9,9 mm.

Dieses Verhalten ist je nach Werkstoff unterschiedlich stark ausgeprägt und macht es schwierig, Passmaße wie beim Aufreiben von Bohrungen in H7 Qualität bei der Serienherstellung ohne größeren Fertigungsaufwand zu erreichen.

5. Konstruktionsvorschläge

Nachfolgender Vorschlag soll das „Umdenken“ des Konstrukteurs bei der Festlegung von Fertigungstoleranzen bei Produkten aus technischen Kunststoffen erleichtern.

Die hier vorgeschlagenen Toleranzgrößen sind mit üblichem Fertigungsaufwand erreichbar. Normalerweise ist auch bei diesen vergrößerten Toleranzen die Funktion des Kunststoffteils gewährleistet.

Für maschinenbautechnische Teile aus Kunststoffen ist demnach von der Festlegung der DIN EN ISO 268 Toleranzreihen IT 6, IT 7 und IT 8 abzusehen. Wenn aus verschiedenen Gründen engere Toleranzen als die nachfolgend empfohlenen gefordert werden, wird unsere Anwendungstechnik Sie gerne beraten. Kleinere Toleranzspannen als 0,05 mm müssen mit den entsprechenden Fachabteilungen individuell vereinbart werden.

Material- und fertigungsgerechte Toleranzen für die spanabhebende Bearbeitung von Kunststoffen

6. Vorgehen zur Festlegung kunststoffgerechter Toleranzen

6.1 Festlegung der materialgerechten und erzielbaren Toleranz-Spanne

nach Tabelle entsprechend der Maßhaltigkeit und Formstabilität des Kunststoffes. Werkstoffe mit einer geringen Wasser-/Feuchtigkeitsaufnahme und geringer Wärmeausdehnung gelten als formstabil. Sie sind damit geeignet für engere Toleranzspannen.

Materialkategorie A: Thermoplaste mit guter Formstabilität

Materialkategorie B: Thermoplaste mit geringerer Formstabilität

Kategorie	Werkstoffe	Kurzbezeichnung	
A	Murytal® C	POM-C	
	Murytal® H	POM-H	
	Murytal® ESD	POM-C (C)	
	Murylat®	PET	
	Murylat® SP	PET (SP)	
	Murinyl®	PVDF	
	Murylon® A GF	PA66 (GF)	
	PVC grau	PVC-U	
	Murinit® SP	PPS (SP)	
	Murpec®	PEEK	
	Murpec® SP	PEEK (SP)	
	Murdopol®	PA12 C	
	B	Werkstoff "S"®	PE-UHMW
		Werkstoff "S" plus+®	PE-UHMW
Muralen®		PE-HMW	
Murylon® B		PA6	
Murylon® A		PA66	
Murylon® 6 Guss		PA6 C	
Murylon® HT		PA46	
Murlubric®		PA6 C (Öl)	
Murflor®		PTFE	
Murflor® + Kohle		PTFE (C)	
Murflor® + Bronze		PTFE (CuSn)	
Murflor® + Glas		PTFE (GF)	
PP grau/natur		PP-H	

6.2 Zuordnung der Toleranzreihe

Für Maße ohne Toleranzangabe kann das Abmaß direkt den Tabellen nach DIN ISO 2768-1 mittel (in Sonderfällen Toleranzklasse fein) entnommen werden.

6.3 Toleranzlage entsprechend der Funktion bestimmen

Die Auswahl der richtigen Passmaße ist nicht nur abhängig von den fertigungstechnischen Möglichkeiten, sondern auch von den Einsatz- und Umgebungsbedingungen sowie dem Verwendungszweck, der eingesetzten Kunststoffteile.

Beispiele:

- ▶ Lagersitze für Rillenkugellager
- ▶ Einpressübermaße für Buchsen
- ▶ Lagerspiel für Gleitlager
- ▶ usw.

Die Bauteile können durch Feuchtigkeit, Fließvorgänge nach dem Einpressen, Chemikalien, Lagertemperaturen, etc. hinsichtlich ihrer Maßhaltigkeit beeinflusst werden. Aus diesem Grund empfehlen wir Ihnen, Rücksprache mit unserer Anwendungstechnik zu halten.

Material- und fertigungsgerechte Toleranzen für die spanabhebende Bearbeitung von Kunststoffen

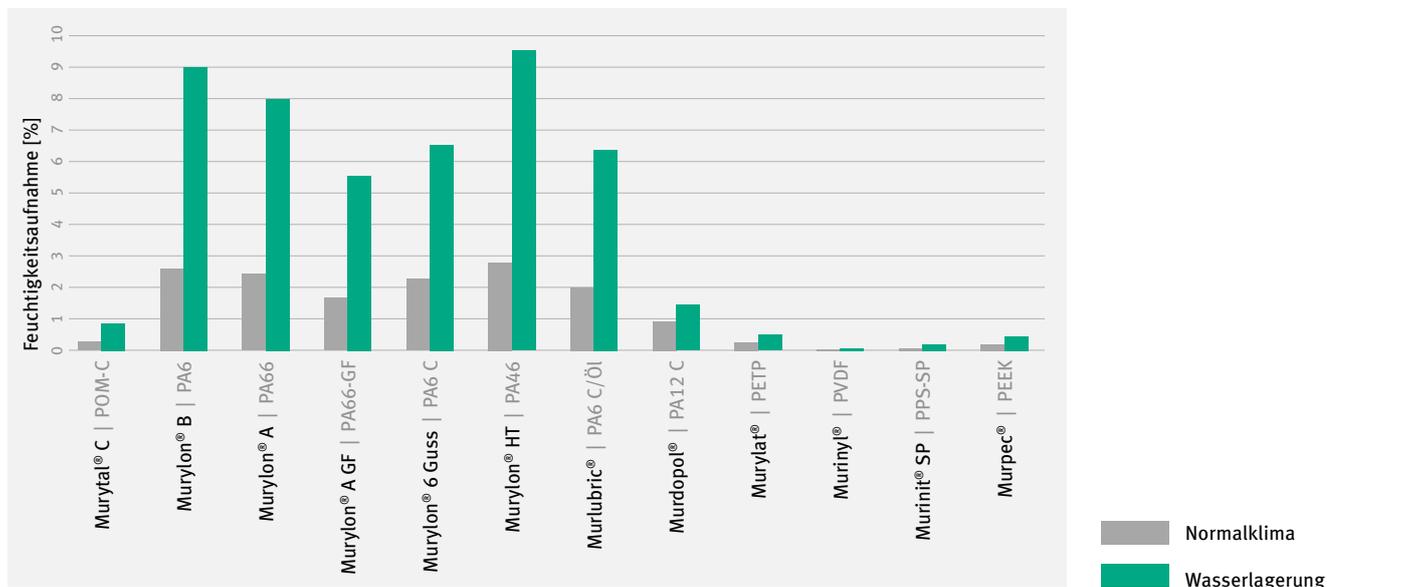
Die Ausgangslänge zur Berechnung der Längenänderung beträgt 1000 mm bei einem Temperaturunterschied von 10°C

Werkstoff	Kurzbezeichnung	α [$10^{-5}/K$]*	Δl [mm]	Feuchtigkeitsaufnahme [%]	
		$\Delta l = l_0 \times \alpha \times \Delta T$		Normalklima	Wasserlagerung
Werkstoff "S" [®] 8000	PE-UHMW	17	1,7	<0,1	<0,1
Original Werkstoff "S" [®] grün/natur	PE-UHMW	20	2,0	<0,1	<0,1
Muralen [®]	PE-HMW	20	2,0	<0,1	<0,1
PP grau	PP-H	16	1,6	<0,1	<0,1
PVC grau	PVC-U	8	0,8	<0,1	<0,1
Murytal [®] C	POM-C	11	1,1	0,2	0,8
Murytal [®] H	POM-H	9	0,9	0,2	0,8
Murylon [®] B	PA6	9	0,9	2,6	9
Murylon [®] A	PA66	8	0,8	2,4	8
Murylon [®] A GF	PA66 (GF)	5	0,5	1,7	5,5
Murylon [®] 6 Guss	PA6 C	8	0,8	2,2	6,5
Murylon [®] HT	PA46	8	0,8	2,8	9,5
Murlubric [®]	PA6 C (Öl)	8	0,8	2,0	6,3
Murdopol [®]	PA12 C	11	1,1	0,9	1,4
Murylat [®]	PET	6	0,6	0,25	0,5
Murylat [®] SP	PET (SP)	6,5	0,65	0,23	0,47
Murinyl [®]	PVDF	13	1,3	0,01	0,05
Murflor [®]	PTFE	16	1,6	<0,01	<0,01
Murflor [®] + Kohle	PTFE (C)	9,5	0,95	<0,01	<0,2
Murflor [®] + Bronze	PTFE (CuSn)	9	0,9	<0,01	<0,2
Murinit [®] SP	PPS (SP)	5	0,5	0,05	0,2
Murpec [®]	PEEK	5	0,5	0,2	0,45
Murpec [®] SP	PEEK (SP)	3,5	0,35	0,16	0,35

* gültig für 23–60°C

Bitte beachten Sie, dass bei PTFE Werkstoffen bei 19°C eine Umwandlung im Kristallgitter stattfindet. Der Längenausdehnungskoeffizient ist zwischen 10-30°C höher als zwischen 30-100°C und 30-200°C. Für alle Werkstoffe gilt, dass Maßprüfungen an akklimatisierten Prüflingen bei 23 °C +/- 2 °C stattfinden sollten.

Feuchtigkeitsaufnahme der Kunststoffe in %



Material- und fertigungsgerechte Toleranzen für die spanabhebende Bearbeitung von Kunststoffen

Empfohlene Richtwerte für erreichbare Toleranzspannen entsprechend der Werkstoff-Kategorien A und B gemäß IT-Toleranzsystem nach ISO 286

Nennmaßbereich [mm]	Drehteile		Frästeile	
	Kategorie A [µm]	Kategorie B [µm]	Kategorie A [µm]	Kategorie B [µm]
über 3 bis 6	50 (/)	48 (IT 10)	48 (IT 10)	75 (IT 11)
über 6 bis 10	50 (/)	58 (IT 10)	58 (IT 10)	90 (IT 11)
über 10 bis 18	50 (/)	70 (IT 10)	70 (IT 10)	110 (IT 11)
über 18 bis 30	52 (IT 9)	84 (IT 10)	130 (IT 11)	210 (IT 12)
über 30 bis 50	100 (IT 10)	160 (IT 11)	160 (IT 11)	250 (IT 12)
über 50 bis 80	120 (IT 10)	190 (IT 11)	190 (IT 11)	300 (IT 12)
über 80 bis 120	140 (IT 10)	220 (IT 11)	220 (IT 11)	350 (IT 12)
über 120 bis 180	160 (IT 10)	250 (IT 11)	400 (IT 12)	630 (IT 13)
über 180 bis 250	290 (IT 11)	460 (IT 12)	460 (IT 12)	720 (IT 13)
über 250 bis 315	320 (IT 11)	810 (IT 13)	810 (IT 13)	1300 (IT 14)
über 315 bis 400	360 (IT 11)	890 (IT 13)	890 (IT 13)	1400 (IT 14)
über 400 bis 500	400 (IT 11)	970 (IT 13)	970 (IT 13)	1550 (IT 14)

1 µm = 0,001 mm

Thermoplaste mit guter Formstabilität

Kategorie	Werkstoffe	Kurzbezeichnung
A	Murytal® C	POM-C
	Murytal® H	POM-H
	Murytal® ESD	POM-C (C)
	Murylat®	PET
	Murylat® SP	PET (SP)
	Murinyl®	PVDF
	Murylon® A GF	PA66 (GF)
	PVC grau	PVC-U
	Murinit® SP	PPS (SP)
	Murpec®	PEEK
	Murpec® SP	PEEK (SP)
	Murdopol®	PA12 C

Thermoplaste mit geringerer Formstabilität

Kategorie	Werkstoffe	Kurzbezeichnung
B	Werkstoff "S"®	PE-UHMW
	Werkstoff "S" plus+®	PE-UHMW
	Muralen®	PE-HMW
	Murylon® B	PA6
	Murylon® A	PA66
	Murylon® 6 Guss	PA6 C
	Murylon® HT	PA46
	Murlubric®	PA6 C (Öl)
	Murflor®	PTFE
	Murflor® + Kohle	PTFE (C)
	Murflor® + Bronze	PTFE (CuSn)
	Murflor® + Glas	PTFE (GF)
	PP grau/natur	PP-H

Als Faustformel kann für gedrehte und gefräste Teile entsprechend der Werkstoffkategorie eine Toleranzspanne von 0,1–0,2% des Nennmaßes eingehalten werden.

Beispiel für ein Nennmaß 250 mm

Nennmaß 250 mm		Toleranzspanne [mm]	[mm]
Werkstoff Kategorie A	0,10%	0,25	±0,125 oder -0,05/+0,20
Werkstoff Kategorie B	0,20%	0,5	±0,25 oder -0,2/+0,3

Material- und fertigungsgerechte Toleranzen für die spanabhebende Bearbeitung von Kunststoffen

Sofern keine Toleranzen angegeben werden, produzieren wir nach DIN ISO 2768-1 mittel. Auf Wunsch können engere Toleranzen gefertigt werden. Zuschnitte werden in Anlehnung an diese Norm in der Toleranzklasse v „sehr grob“ – allerdings ausschließlich im plus Bereich – gefertigt.

Die normal erreichbare Oberflächengüte entspricht je nach Fertigungsverfahren einem Mittenrauhwert von $Ra = 1,6 - 3,2 \mu m$ bzw. $Rz 8 - 16 \mu m$ und kann auf maximal $Ra = 0,6 \mu m$ erhöht werden. Diese Ra-Werte entsprechen den Rauheitsklassen N7-N8 und ca. N6 nach DIN EN ISO 1302.

Zur Erzielung einer höheren Maßhaltigkeit und Verzugsfreiheit empfehlen wir ein Tempern des Halbzeuges sowie gegebenenfalls des vorbearbeiteten Werkstücks.

Tempervorschriften erhalten Sie auf Rückfrage bei unserer Anwendungstechnik.



Nenn- und Grenzabmaße [mm]	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	über 4000
Maße ohne Toleranzangabe Freimaßtoleranzen nach DIN DIN ISO 2768-1 mittel	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3

Allgemeintoleranzen für gesägte Zuschnitte in Anlehnung an die DIN ISO 2768-1 sehr grob (ohne Minustoleranzen)

Nenn- und Grenzabmaße [mm]	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	über 4000
Maße ohne Toleranzangabe Freimaßtoleranzen nach DIN DIN ISO 2768-1 sehr grob	+ 0,5	+ 1	+ 1,5	+ 2,5	+ 4	+ 6	+ 8	+ 10

Material- und fertigungsgerechte Toleranzen für die spanabhebende Bearbeitung von Kunststoffen

6.4 Form- und Lagetoleranzen

Im Allgemeinen sind Toleranzen nach DIN ISO 2768-2 (K) für die Gerad- und Ebenheit, Rechtwinkligkeit, Symmetrie, Rund- und Planlauf erreichbar.

Für Form und Lage sowie den Rund- und Planlauf ist in Sonderfällen nach Rücksprache die Toleranzklasse (H) möglich. Eine Geradheit und Ebenheit von <math><0,1\text{ mm}</math> kann in der Regel, selbst mit sehr großem Fertigungsaufwand, nicht erreicht werden.

Einen großen Einfluss auf die Form- und Lagetoleranzen hat das Fließverhalten und die Elastizität der Kunststoffe. Ein Bauteil wird ohne Kombination mit einer tragenden Konstruktion, eine weit größere Formabweichung einnehmen, als in der DIN ISO 2768-2 benannt. In einigen Fällen sind geforderte Form- und Lagetoleranzen erst nach der Montage des Bauteiles mit der Trägerkonstruktion erreichbar.

Allgemeintoleranzen für Geradheit und Ebenheit nach DIN ISO 2768-2

Nennmaßbereiche [mm]	über 10 bis 30	über 30 bis 100	über 100 bis 300	über 300 bis 1000	über 1000 bis 3000
Toleranzklasse H	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
Toleranzklasse K	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8

6.5 Allgemeine Fertigungshinweise

- hohe Wärmeentwicklung am Werkzeug und am Werkstück bei der Zerspanung vermeiden
- geeignete Kühlung durch Druckluft oder Kühlmittel sicherstellen
- Hartmetall Werkzeuge und Schnittdaten aus der Aluminium Bearbeitung verwenden
- für eine kontinuierliche Spanabfuhr sorgen
- große Aufspankräfte vermeiden, um Verformungen oder bleibende Markierungen zu verhindern
- langgestreckte Bauteile ausreichend stabilisieren und unterstützen

- Kerbwirkung an scharfkantigen Profilübergängen durch einen Eckenradius vermeiden
- Kantenbruch durch Fasen oder Radien verhindern
- beim Bohren Wärmestau vermeiden, Fließspäne brechen
- Rundmaterial (werkstoffabhängig) ggf. vor dem Bohren auf 80 - 120°C erwärmen, um Blockrisbildung zu vermeiden
- bei tiefen Bohrungen ggf. Werkzeug mit IKZ (Innen-Kühlmittel-Zufuhr) verwenden
- beim Sägen Sägeblätter mit großer Zahnteilung und größerer Zahnschrägung verwenden, um Überhitzung und Hemmung zu vermeiden

Mögliche Verformungen durch großvolumige oder stark einseitige Querschnittsveränderungen mittels geeigneter Maßnahmen (Fertigung mit Zwischenschritten und/oder zusätzlicher Wärmebehandlung) vorbeugen.

6.6 Hinweise zur fachgerechten Lagerung von Fertigteilen

- Halbzeuge und Fertigteile sollten so gelagert werden, dass sie ...
- keiner direkten Sonneneinstrahlung (Farbveränderung, Oxidativer Abbau an der Oberfläche) ausgesetzt werden.
 - vor Wasser, hoher Luftfeuchtigkeit, Chemikalien (Quellung, Verzug, Spannungsrisbildung, Veränderung der Festigkeit) geschützt werden. Fertigteile aus Polyamid sollten bei längerer Lagerung luftdicht verschlossen und mit Trockenmittel eingelagert werden.
 - nicht tiefen Temperaturen (Versprödung, Verzug, Gefahr von Kantenbruch) ausgesetzt werden.
 - stabil, eben, flach und vollständig unterstützt aufliegen (Deformationen).

Eine Lagerung in geschlossenen Räumen unter gleichbleibenden Bedingungen bei Normalklima (23°C, 50% RF) wäre optimal. Halbzeuge, welche länger bei tiefen oder höheren Temperaturen gelagert wurden, sollten vor der Bearbeitung eine gewisse Zeit zur Akklimatisierung unter Raumtemperatur zwischengelagert werden. Die langfristige Lagerung von spanabhebend hergestellten Teilen kann auch bei Einhaltung aller aufgeführten Empfehlungen zum Verzug der Teile durch Abbau (Relaxation) von Restspannungen führen.