

Toleranzdesign im Maschinen- und Fahrzeugbau

Bernd Klein

ISBN: 978-3-11-037344-8

© 2015 Walter de Gruyter GmbH, Berlin/München/Boston

Abbildungsübersicht / List of Figures

Tabellenübersicht / List of Tables

	Normblatt	Jahr	Inhalt
Grundlagen	DIN 406, T. 10–12	1992	Techn. Zeichnungen, Maßeintragung
	ISO 128	2000	Darstellungen in technischen Zeichnungen
	DIN EN ISO 286, T. 1, 2	2010	Toleranzsystem für Längenmaße
	DIN EN ISO 14405, T. 1 und T. 2	2011	GPS – Dimensionelle Tolerierung
	DIN EN ISO 17450, T. 1,2	2012	Geometrische Produktspezifikation - Grundlagen
	DIN EN ISO 14660, T. 1,2	1999	Geometrieelemente
	DIN 30630	2008	Toleranzregel
	DIN 30-10	2006	Zeichnungsvereinfachung
Form- und Lagetoleranzen	DIN EN ISO 1101	2014	GPS – Geometrische Tolerierung (F+L)
	DIN ISO 16792	2008	Digitale Produktdefinitionsdaten
	DIN 32869	2002	3D-CAD-Modelle
	DIN EN ISO 8015	2011	Unabhängigkeitsprinzip
	DIN 7167	1987	Hüllprinzip (<i>zurückgezogen</i>)
	DIN ISO 1660	1988	Profiltoleranzen
	DIN ISO 5459	2013	Bezüge und Bezugssysteme
	DIN ISO 5458	1999	Positionstolerierung
Allgemeintoleranzen	DIN EN ISO 10579	2013	Tolerierung nicht formstabiler Teile
	DIN ISO 2768, T. 1, 2	1991	Allgemeintoleranzen: Länge, Winkel; F+L
	DIN EN 15860	1991	Kunststoffe: Spanende Verarbeitung
	DIN 1680, T. 1, 2	1980	Gussrohnteile: Allgemeintoleranzen
	DIN 1683, T. 1	1998	Gussrohnteile aus Stahlguss
	DIN EN ISO 8062	2008	Maß-, Form- und Lagetoleranzen für Formteile

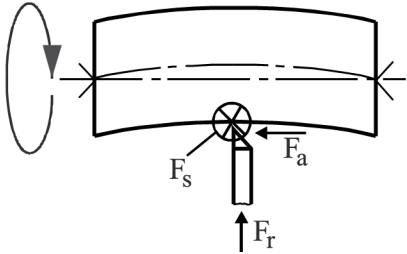
Tabelle 1.1: Übersicht über die aktuellen Normen zur Tolerierung nach <http://www.beuth.de> bzw. Perinorm-Datei des DIN-Instituts (*Fortsetzung*)

Allgemein- toleranzen	DIN 1687, T. 1	1998	Schwermetall: Sand- und Kokillenguss
	DIN 1687, T. 3	1980	Schwermetall: Sand- und Kokillenguss
	DIN 1687, T. 4	1986	Schwermetall: Druckguss
	DIN 1688, T. 1	1998	Leichtmetall: Sandguss
	DIN 1688, T. 3	1980	Leichtmetall: Kokillenguss
	DIN 1688, T. 4	1986	Leichtmetall: Druckguss
	<i>DIN 16742</i>	2013	Kunststoff-Formteile, Toleranzen und Abnahmebedingungen (Nachfolgenorm von DIN 16901)
	DIN EN ISO 10135	2010	Angaben für Formteile
	DIN 7526 + Beiblatt	1969	Schmiedestücke aus Stahl/Gesenkschmiedeteile
	<i>DIN 16794</i>	1986	Tol-für Spritzgusswerkzeuge (<i>zurückgezogen</i>)
	DIN 7523, T. 2	1986	Bearb.-zugabe usw. für Schmiedestücke
	DIN 7526	1969	Freiform-Schmiedestücke aus Stahl
	DIN 6930, T. 2	2011	Toleranzen für Stanzteile
	DIN 6784	1982	Werkstückkanten
	DIN 2310, T. 4	1987	Autogenes Brennschneiden
	DIN EN ISO 13920	1996	Schweißkonstruktionen
	DIN ISO 3302, T. 2	1999	Gummi
	DIN 40680	1983	Keramik
Toleranz- verknüpfung	DIN EN ISO 2692	2012	Technische Zeichnungen, F+L-Tolerierung, Maximum-/Minimum-Material-Prinzip, Wechselwirkungsprinzip
	<i>DIN 7186, T. 1, 2</i>	1974	Statistische Tolerierung (<i>seit 1985 ruhend</i>)
	DIN EN ISO 1302	2002	Angabe der Oberflächenbeschaffenheit
	E DIN EN ISO 25178, T. 1 bis T. 3	2013	GPS-Oberflächenbeschaffenheit: Flächenhaft., Kenngrößen und Spezifikationsoperatoren
Oberfläche	DIN EN ISO 14253, T. 1 bis T. 3	1999	Prüfung von Werkstücken und Messgeräten durch Messen
	DIN ISO 13715	2000	Technische Zeichnungen – Werkstückkanten mit unbestimmter Form
Messtechnik	DIN 1319, T. 1 bis T. 4	1995	Grundlagen der Messtechnik
	DIN EN ISO 10360, T. 1 bis T. 9	2010 2012	GPS-Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG)
	DIN EN ISO 15530, T. 3	2012	GPS-Verfahren zur Ermittlung der Messunsicherheit von KMG

Tabelle 1.1: Übersicht über die aktuellen Normen zur Tolerierung nach <http://www.beuth.de> bzw. Perinorm-Datei des DIN-Instituts

Einspannung des Werkstückes

Eine Welle wird zwischen den Spitzen gespannt und bearbeitet.

**Resultierende Formabweichung**

⇒ Infolge der auf die Welle wirkenden Zustellkraft F_r des Drehmeißels biegt sich diese elastisch durch.

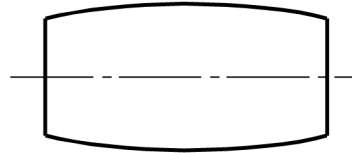
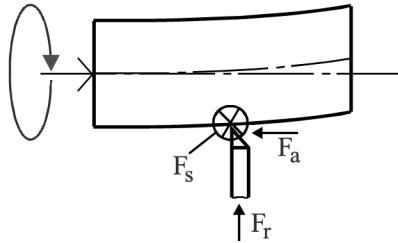


Abb. 3.1: Formabweichung durch Durchbiegung bei beidseitiger Einspannung (nach /DIN 01/)

Einspannung des Werkstückes

Eine Welle wird einseitig eingespannt und bearbeitet.

**Resultierende Formabweichung**

⇒ Infolge der auf die Welle wirkenden Zustellkraft F_r des Drehmeißels biegt sich diese elastisch durch.

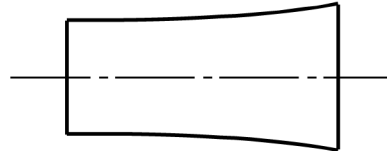


Abb. 3.2: Formabweichung durch Ausbiegung bei einseitiger Einspannung (nach /DIN 01/)

Einspannung des Werkstückes

Eine Hohlwelle wird im Futter gespannt, $\Rightarrow$

Resultierende Formabweichung

Infolge der punktuellen Spannkkräfte entstehen Rundheitsabweichungen in der ausgedrehten Bohrung.

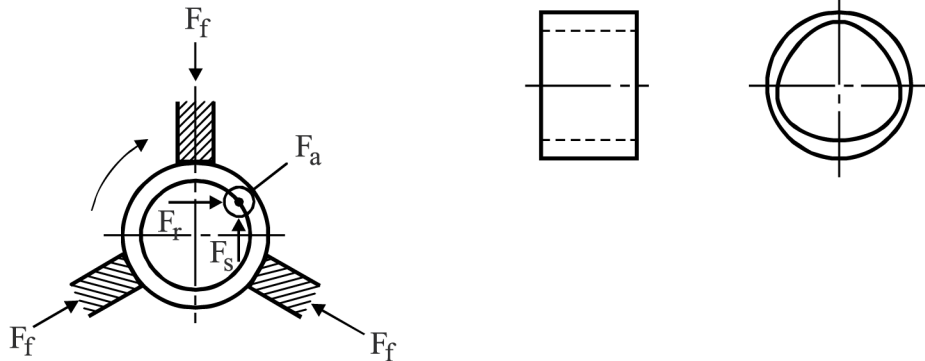


Abb. 3.3: Formabweichung durch Spannkkräfte (nach /DIN 01/)

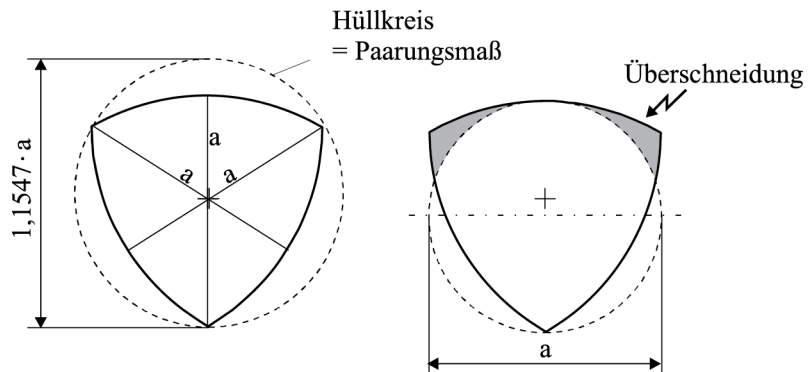


Abb. 3.4: Vergleich einer gleichdickförmigen Welle mit einem Kreis gleichen Durchmessers

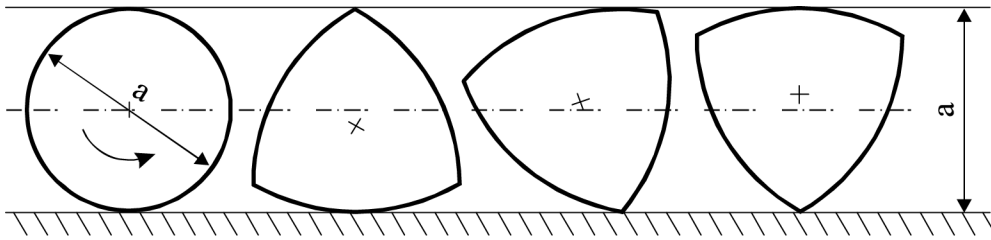


Abb. 3.5: Vergleich eines Gleichdicks mit einer Rolle des Durchmessers a

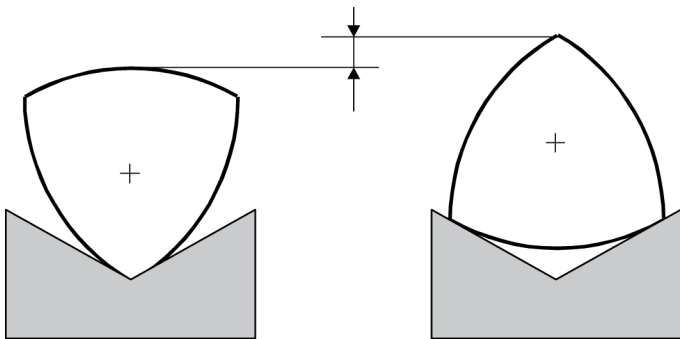


Abb. 3.6: Nachweis einer Gleichdickform mit einem V-Prisma bei einer Zweipunktmessung

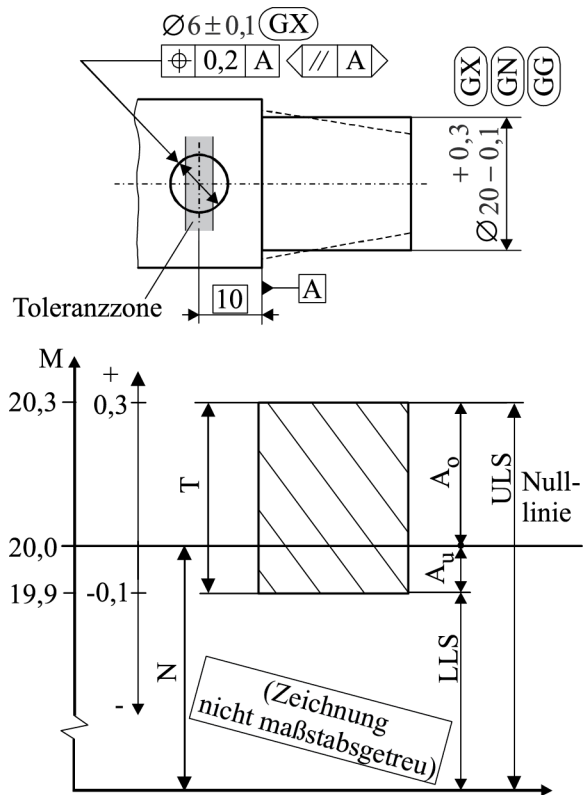


Abb. 4.1: Darstellung einer Nenn-Geometrie mit Positionstoleranz und Maßspezifikation

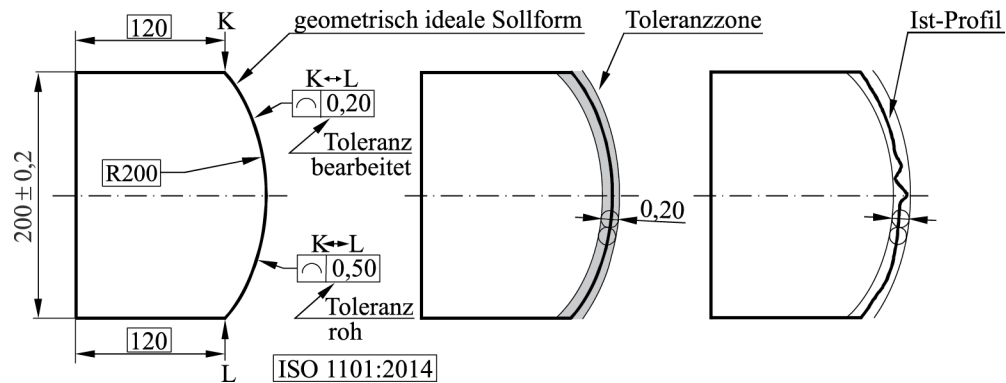


Abb. 4.2: Vergleich zwischen geometrisch idealer Form, Toleranzzone und Ist-Profil am Werkstück

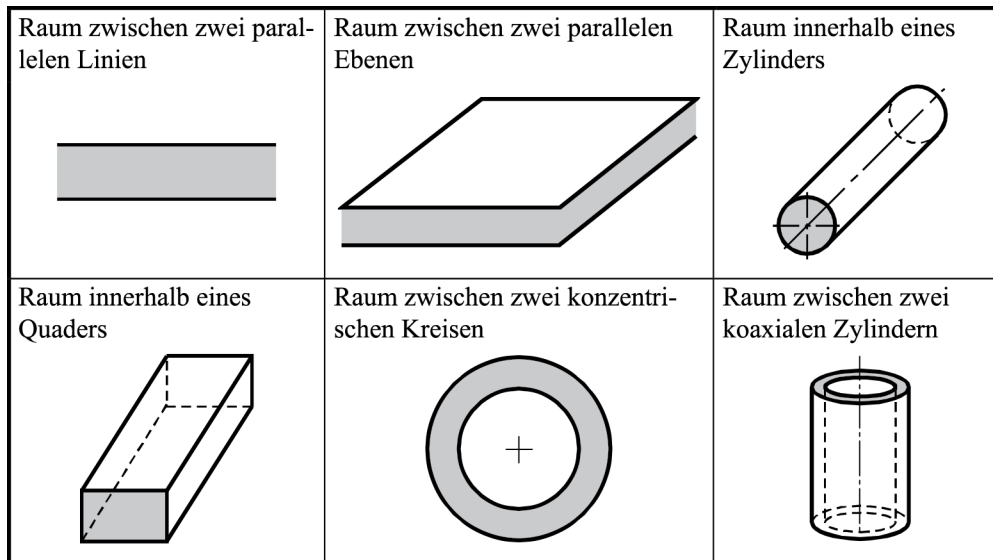


Abb. 4.3: Darstellung der Toleranzzonen nach ISO 1101

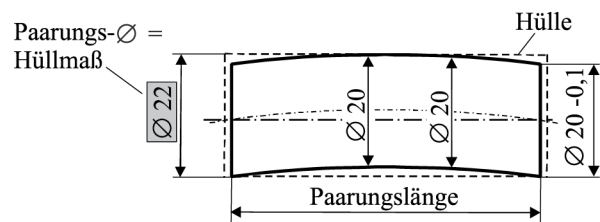


Abb. 4.4: Nicht eindeutig spezifiziertes Maßelement

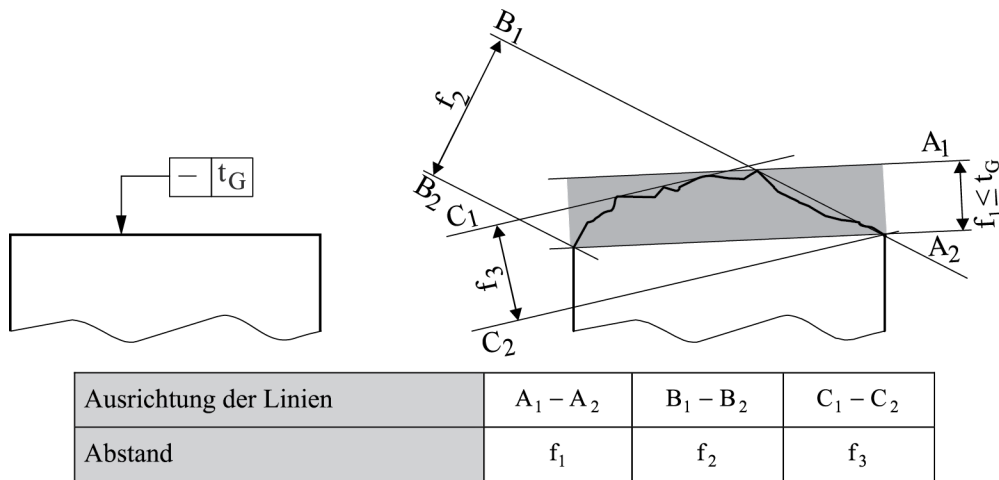


Abb. 4.5: Ausrichtung der Bezugslinien zur Bestimmung der Geradheit nach der Minimum-Bedingung

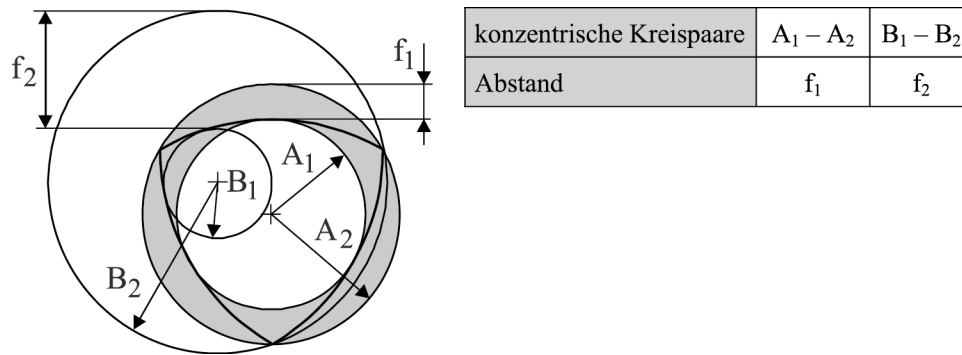


Abb. 4.6: Bestimmung der Rundheitsabweichung nach der Minimum-Bedingung

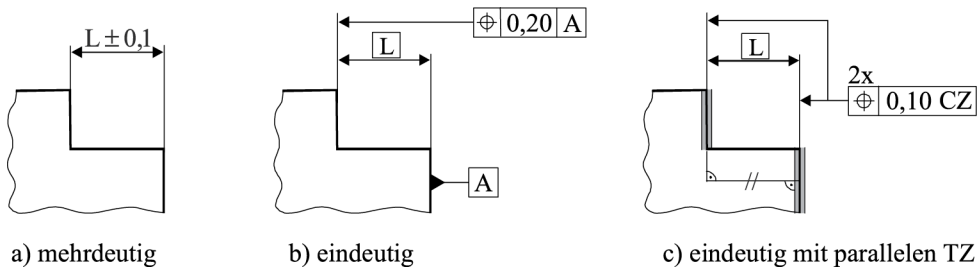


Abb. 4.7: Bemaßter, linearer Abstand (Stufenmaß) zwischen zwei Maßelementen

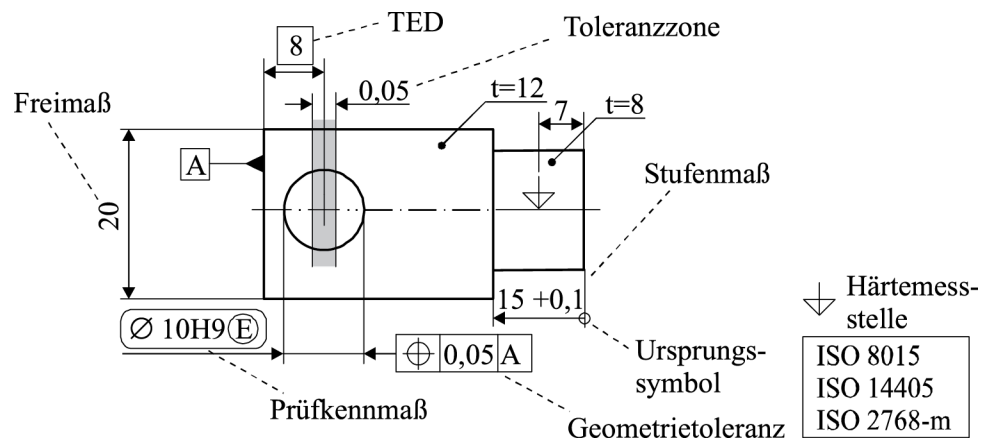


Abb. 5.1: Angabe von Maßen in einer Fertigungszeichnung

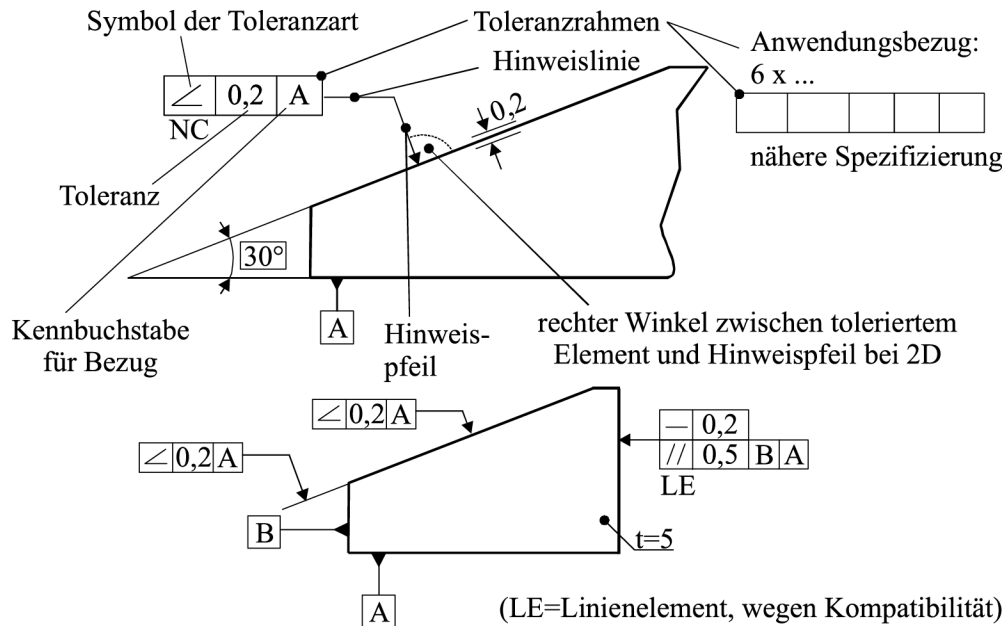


Abb. 5.2: Toleranzangaben am tolerierten Element und verschiedene Stellungen des Hinweis-
pfeils

- a) Tolerierung des realen Geometrieelementes (Gesamtlauf)
b) Tolerierung eines abgeleiteten Geometrieelementes (Achse für Koaxialität)

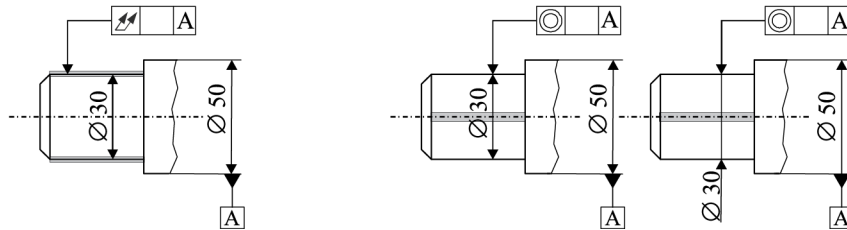


Abb. 5.3: Stellung des Hinweispeils erzeugt unterschiedliche Bedeutung

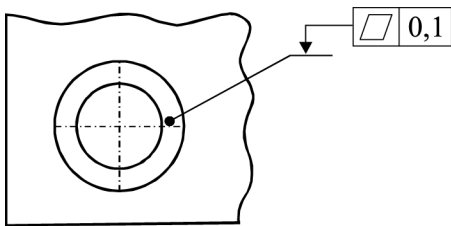


Abb. 5.4: Tolerierung einer gesenkten Ringfläche

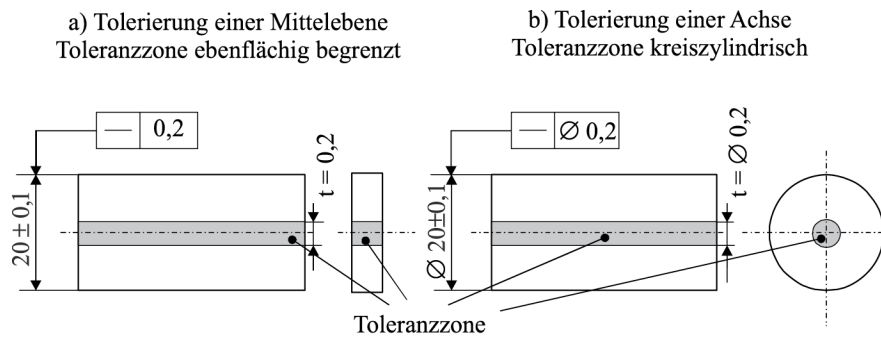


Abb. 5.5: Gestalt der Toleranzzonen und Größenzuweisung

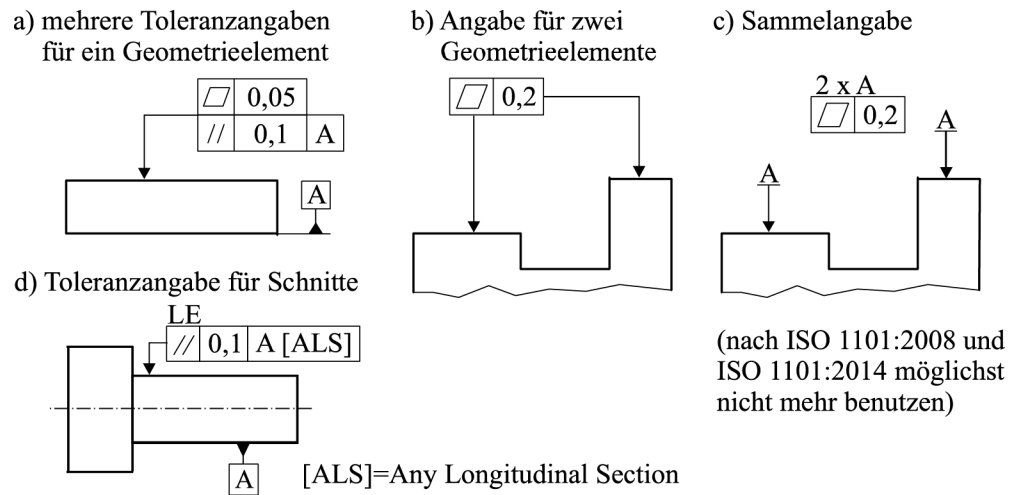
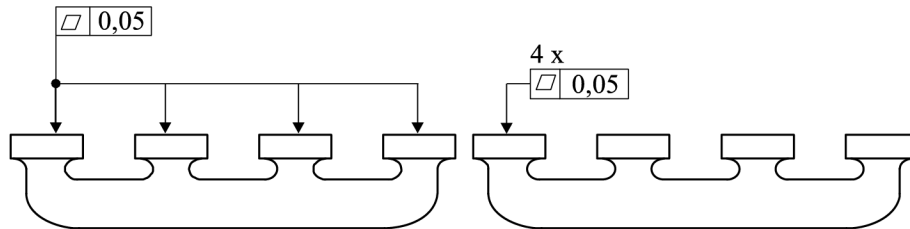
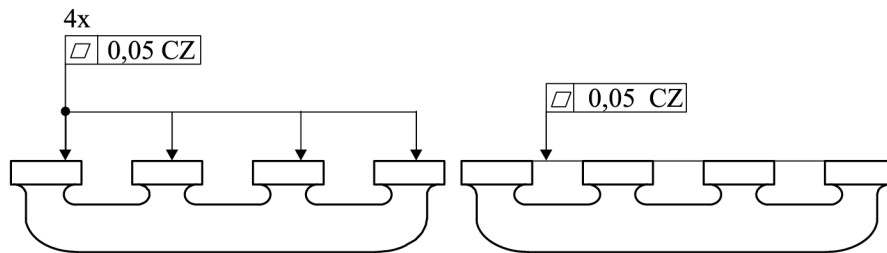


Abb. 5.6: Möglichkeiten der Zuweisung einer Toleranz

- a) Einzelne Toleranzzonen für jedes Geometrieelement verlangen: Jede Fläche muss in sich eben sein.



- b) Nach ISO 1101 kann über mehrere Geometrieelemente eine gemeinsame Toleranzzone (= CZ) gelegt werden.



- c) Gemeinsame Toleranzzonen mit demselben Wert auf unterschiedliche Flächenniveaus
Bedeutung wie unter b) für jede Fläche in einer Aufspannung mit Prüfanforderung.

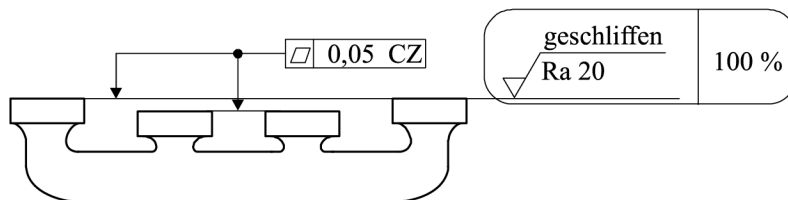


Abb. 5.7: Zeichnungseintragung von Toleranzzonen an einem Auspuffkrümmer

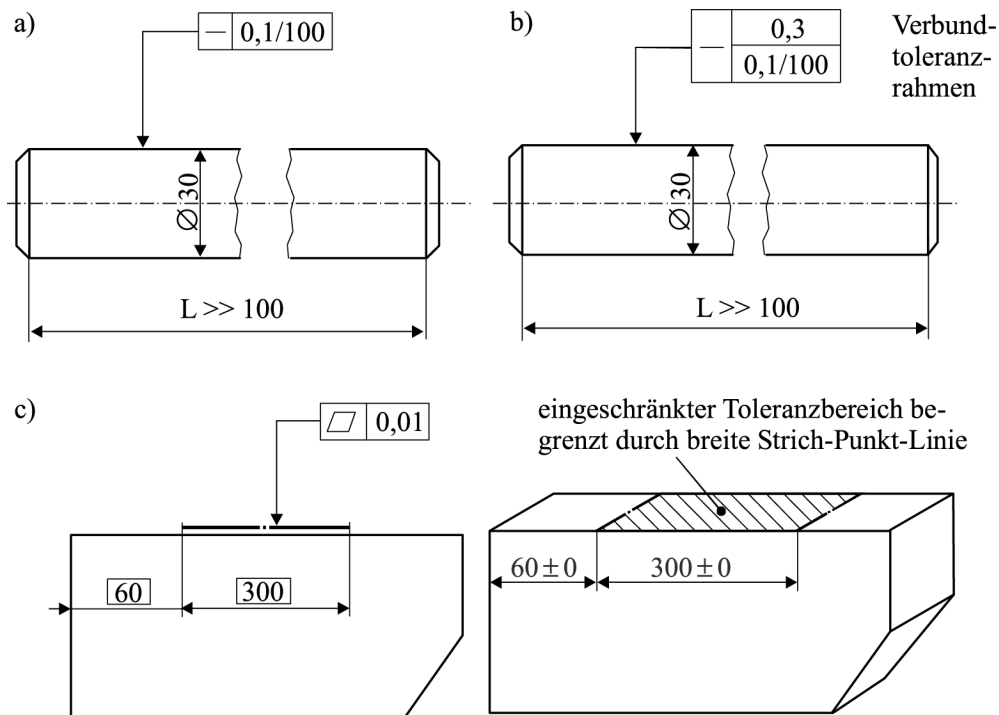


Abb. 5.8: Einschränkung der Ausdehnung einer Toleranzzone

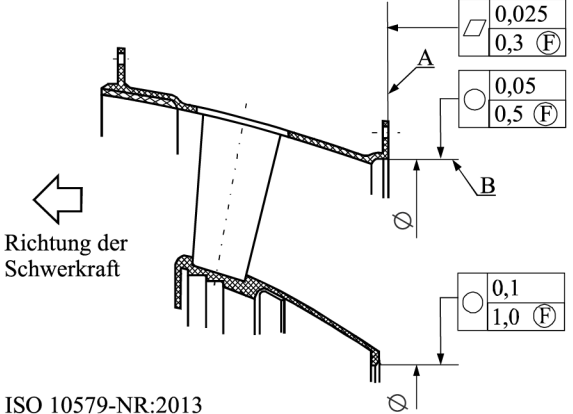
Zeichnungseintragung	Erklärung
 ISO 10579-NR:2013	Die zusätzlich mit (F) gekennzeichneten Form- und Lagetoleranzen sind im freiem Zustand einzuhalten. Die anderen Form- und Lagetoleranzen gelten unter den in der Anmerkung angegebenen Bedingungen. <i>Einspannbedingung:</i> Die Bezugsfläche A ist mit 20 Schrauben M 10 × 20 befestigt und mit einem Drehmoment von 20 Nm anzuziehen.

Abb. 5.10: Kennzeichnung „flexibler Toleranzzonen“ nach DIN EN ISO 10579 (nicht benutzte Bezüge bei den Toleranzen müssen als „Fahne“ angezogen werden)

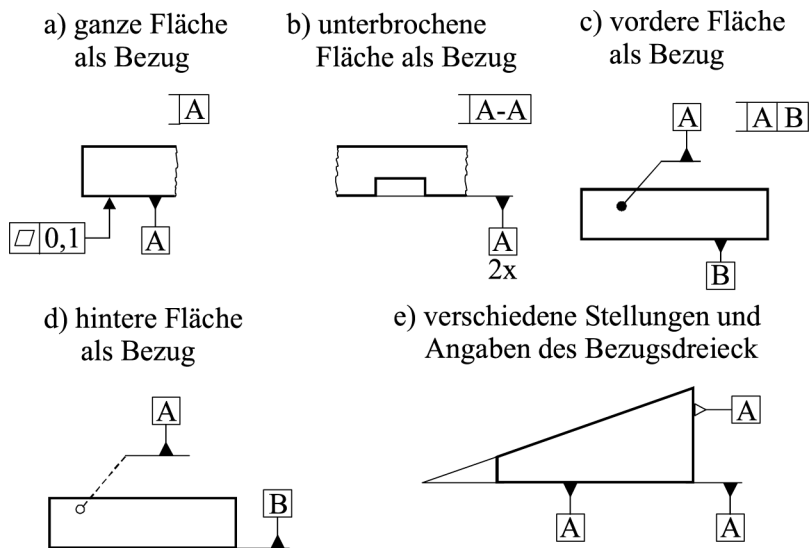
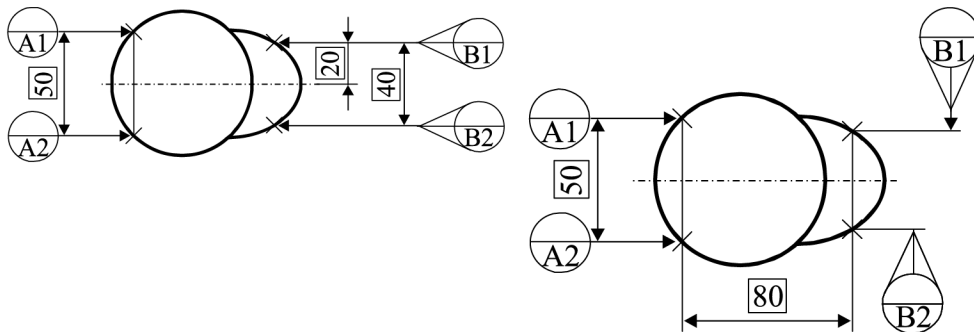


Abb. 5.11: Kennzeichnung eines Bezugselementes nach DIN EN ISO 5459



- a) Die Beweglichkeit der Bezugsstelle B1, B2, welche durch die Richtung des modifizierten Bezugsstellenrahmens für eine bewegliche Bezugsstelle gegeben ist, ist senkrecht zu einer Linie, welche durch die Bezugsstellen A1 und A2 geht.
- b) Die Beweglichkeit der Bezugsstelle B1, B2, welche durch die Richtung des modifizierten Bezugsstellenrahmens für eine bewegliche Bezugsstelle gegeben ist, ist parallel zu einer Linie, welche durch die Bezugsstellen A1 und A2 geht.

Abb. 5.12: Einführung beweglicher Bezugsstellen an Formteile

Lauftolerierung eines Lagersitzes

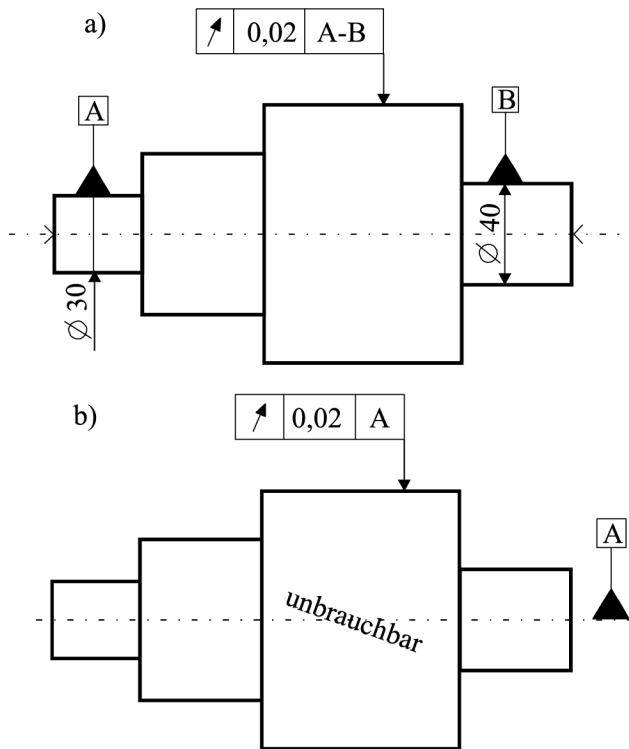
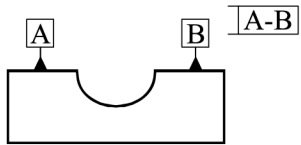
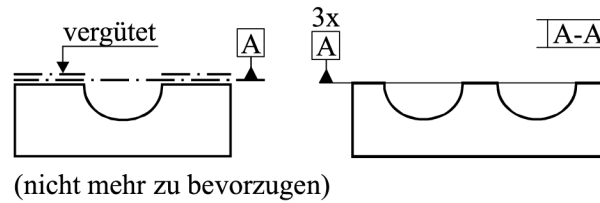


Abb. 5.13: Gemeinsame Bezugsbildung zur Lauftolerierung eines Lagersitzes (Aufnahme zwischen den Spitzen ist angedeutet.)

a) einzelne Kennbuchstaben



b) Kennbuchstabe für gemeinsamen Bezug



c) eingeschränkte Bezugsflächen

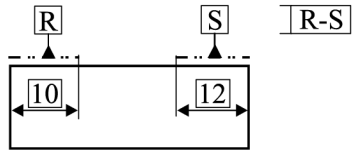


Abb. 5.14: Möglichkeiten zur Angabe von Bezugsflächen bei spanender Bearbeitung an Bauteilen

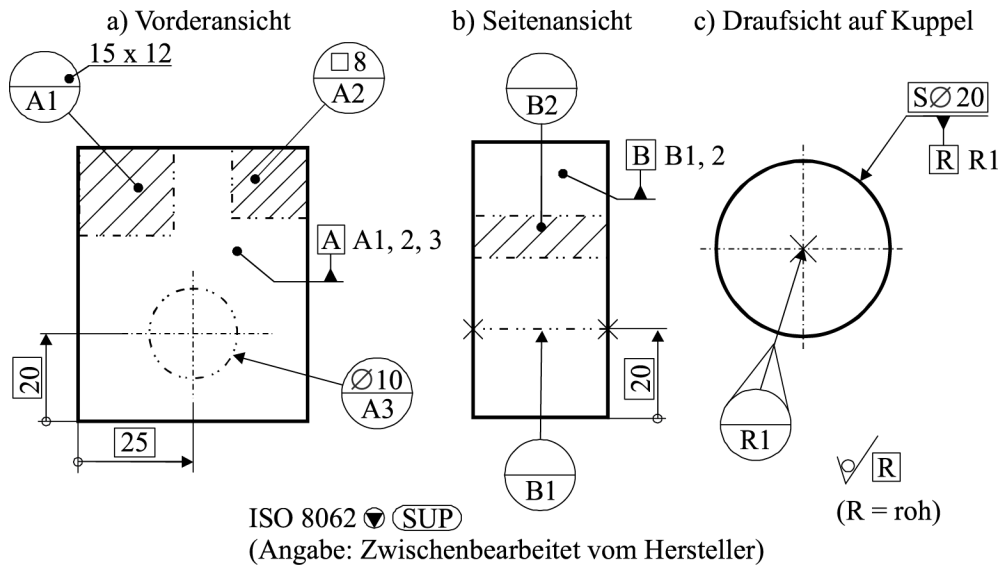


Abb. 5.15: Zeichnungseintragung von Bezügen über Bezugsstellen; Verwendung von Bezugsstellenrahmen, einer beweglichen Bezugsstelle und des Ursprungssymbols

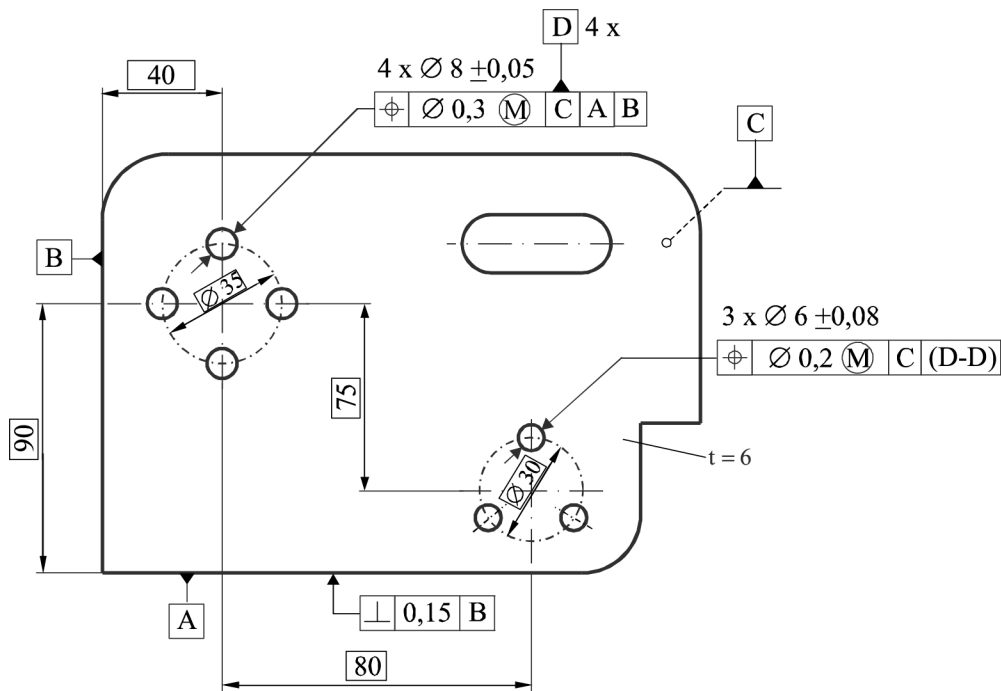


Abb. 5.16: Funktionsbezug an einem Bauteil unter Einbezug einer ganzen Formelementgruppe mit (D-D)

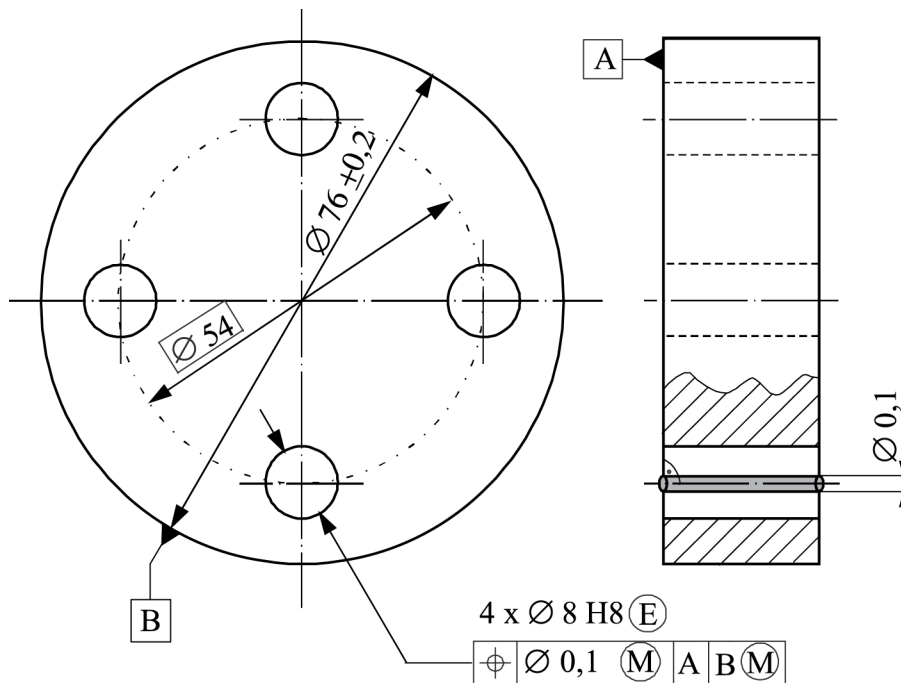


Abb. 5.17: Werkstück mit symmetrischem Bohrungsbild

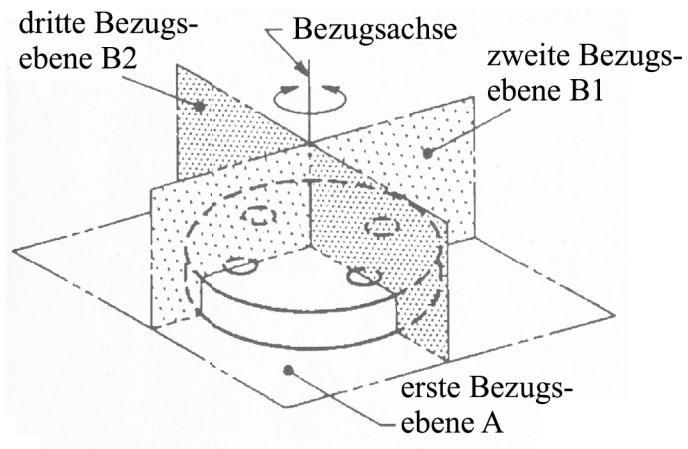


Abb. 5.18: Bezugsebenen am Bauteil nach /ASM 98/

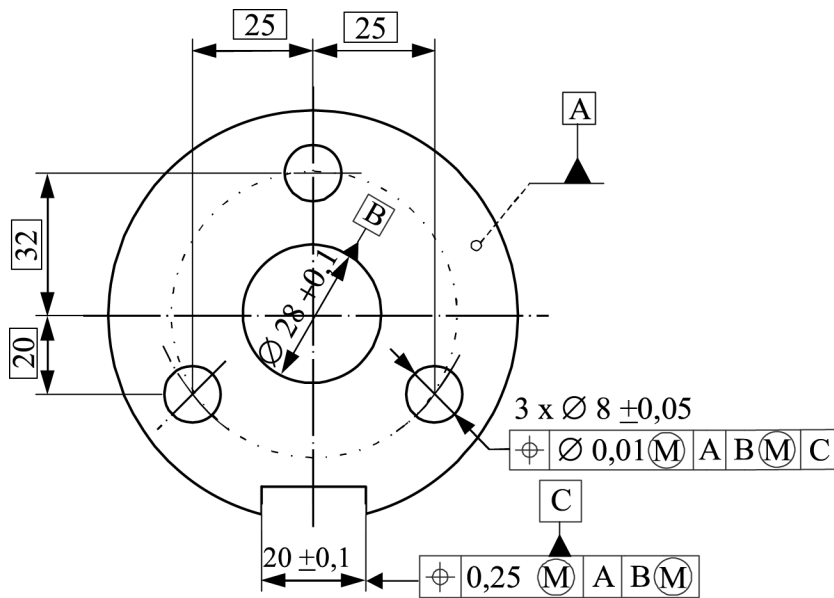


Abb. 5.19: Bauteil mit eindeutiger Ausrichtung der Bezüge

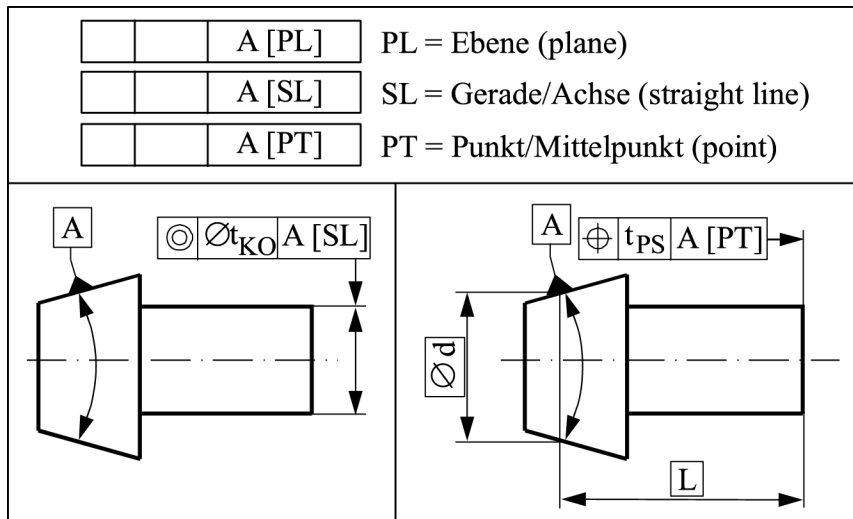


Fig. 5.20: Vereinbarung von Lageelementen bei Bezügen

- a) Parallelitätstolerierung mit Bezug (Zeichnungseintrag) b) reales Form- und Bezugselement

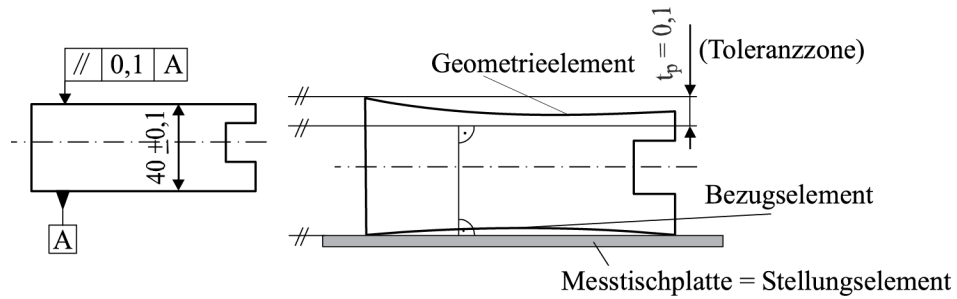


Abb. 6.1: Bezugsangabe und Bezugsbildung über ein ideales Stellungselement

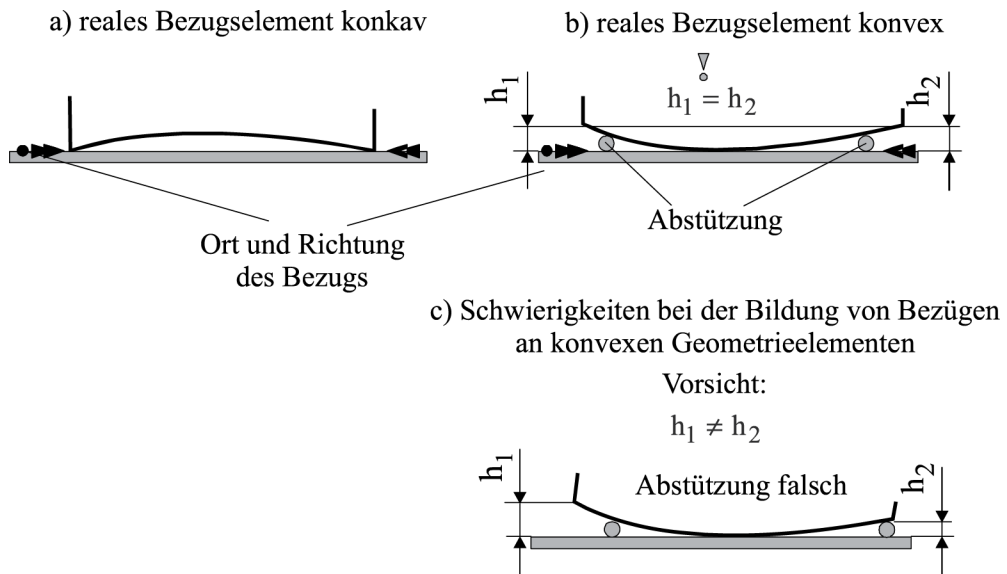


Abb. 6.2: Gerade Fläche als Bezugselement - konvexe und konkave Formabweichung

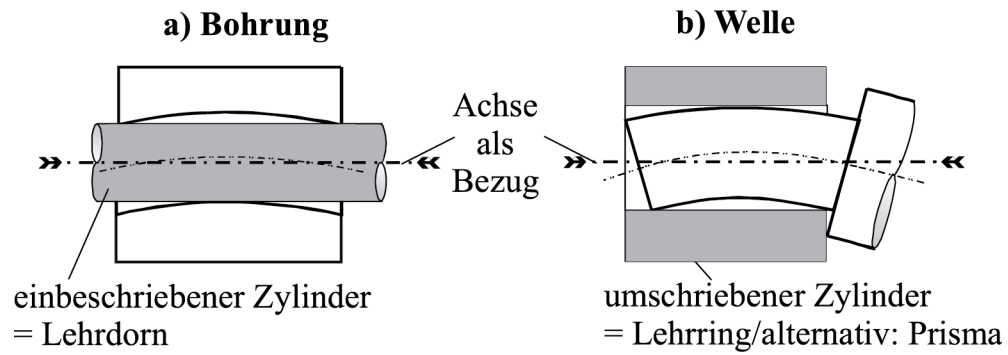


Abb. 6.3: Traditionelle Verkörperung der Bezugsachse über einen Dorn bzw. einen Ring

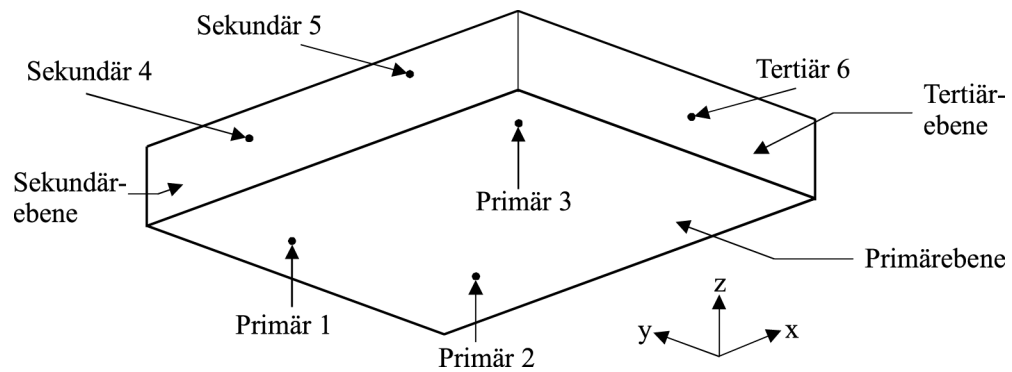


Abb. 6.4: Festlegungen im Referenz-Punkt-System

Abb. 6.5: Festlegung der Position einer Bohrung durch Bezüge a) mit zwei unabhängigen Bezügen, b) und c) mit einem rechtwinkligen Bezugssystem in der Ebene (Vereinbarung einer Hülle für die Bohrung)

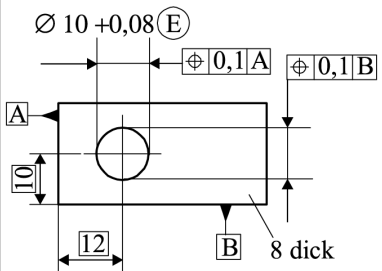
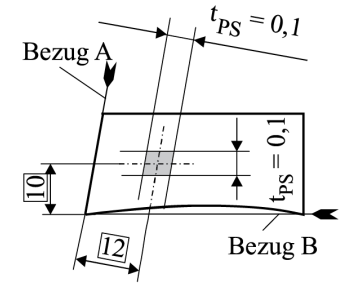
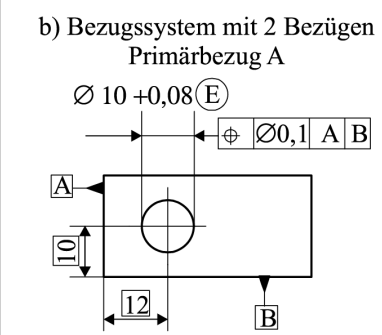
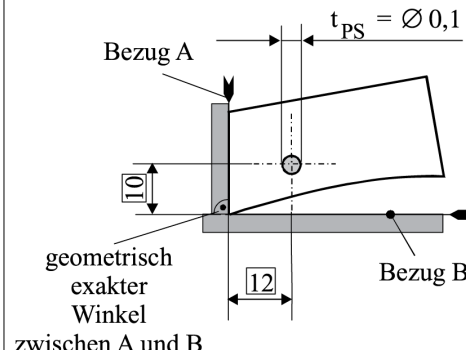
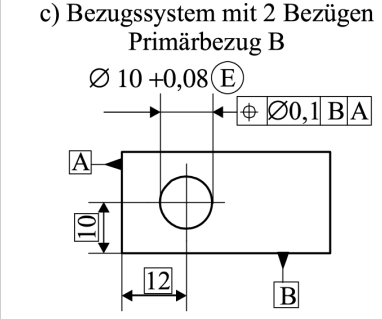
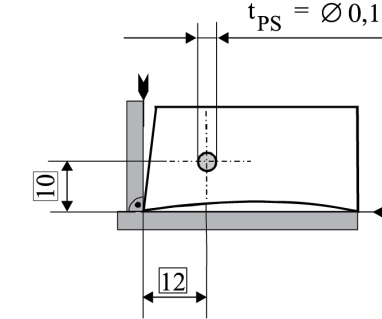
Auswirkung der Wahl der Bezüge auf die Position einer Bohrung	
Zeichnungseintrag	Lage der Toleranzzonen
a) Zwei unabhängige Bezüge 	
b) Bezugssystem mit 2 Bezügen Primärbezug A 	
c) Bezugssystem mit 2 Bezügen Primärbezug B 	

Abb. 6.6: Positionstolerierung und Ausrichtung eines dünnen Blechteils in einem vollständigen räumlichen Bezugssystem (drei senkrecht aufeinanderstehende Ebenen)

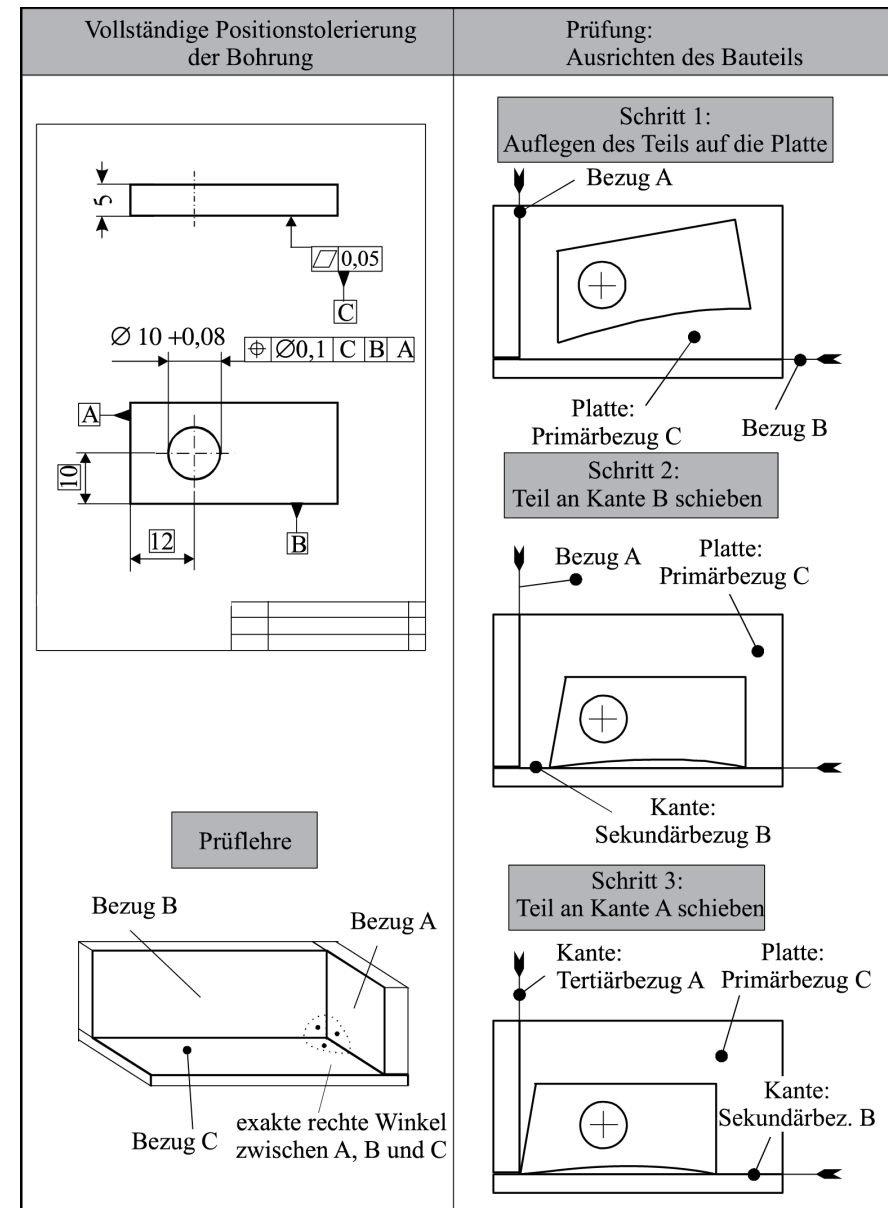


Tabelle 7.1: Übersicht über die 14 Toleranzarten zur Geometriebeschreibung nach ISO 1101 beziehungsweise identisch zur ASME Y 14.5M-2009

Art	Gruppe	Symbol	Bezeichnung	Tole- ranz	Abwei- chung	Toleranzzone/ Bezug erforderlich		Tolerierte Geometrie- elemente	
Formtoleranzen	„flach“		Geradheit	t _G	f _G	geradlinig/ nein		alle, d. h. sowohl reale als auch abgeleitete	
			Ebenheit	t _E	f _E	zwischen zwei Ebenen/ nein			
	„rund“		Rundheit	t _K	f _K	zwischen zwei Kreisen/ nein		nur reale	
			Zylindrizität	t _Z	f _Z	zwischen zwei Zylindern/ nein			
			Profilform einer beliebigen Linie	t _{LP}	f _{LP}	mittig (+/-) zum idealen Profil/ nein		nur reale	
			Profilform einer beliebigen Fläche	t _{FP}	f _{FP}				
Lagetoleranzen	Richtungs- toleranzen		Parallelität	t _P	f _P	geradlinig	Nur Richtung festgelegt. Flachform implizit enthalten./ ja	alle	
			Rechtwinkligkeit	t _R	f _R				
			Neigung	t _N	f _N			nur reale	
			Profilform einer beliebigen Linie	t _{LP}	f _{LP}				
			Profilform einer beliebigen Fläche	t _{FP}	f _{FP}				
	Ortstole- ranzen		Position	t _{PS}	f _{PS}			symmetrisch (+/-) zum idealen Ort. Richtung und Flachform implizit ent- halten./ ja	alle
			Koaxialität/ Konzentrizität	t _{KO}	f _{KO}				nur Achsen
			Symmetrie	t _S	f _S				meist abgelei- tete: Symmet- rieebenen, Achsen
			Profilform einer beliebigen Linie	t _{LP}	f _{LP}				nur reale
			Profilform einer beliebigen Fläche	t _{FP}	f _{FP}				
	dynamische Lauftole- ranzen		einfacher Lauf Rund-, Planlauf	t _L	f _L	zylindrisch/ ja		nur reale	
			Gesamtlauf Rund-, Planlauf	t _{LG}	f _{LP}				

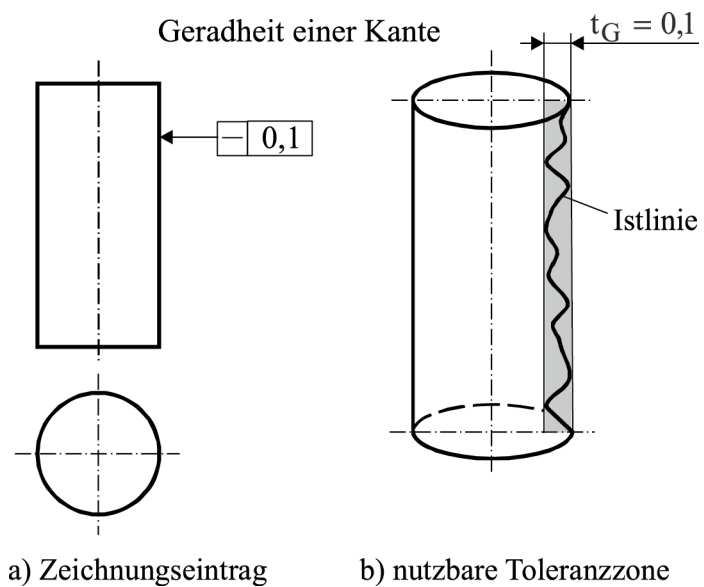


Abb. 7.1: Eintragung und Interpretation der Geradheitstoleranz einer Kante

Geradheit einer Achse

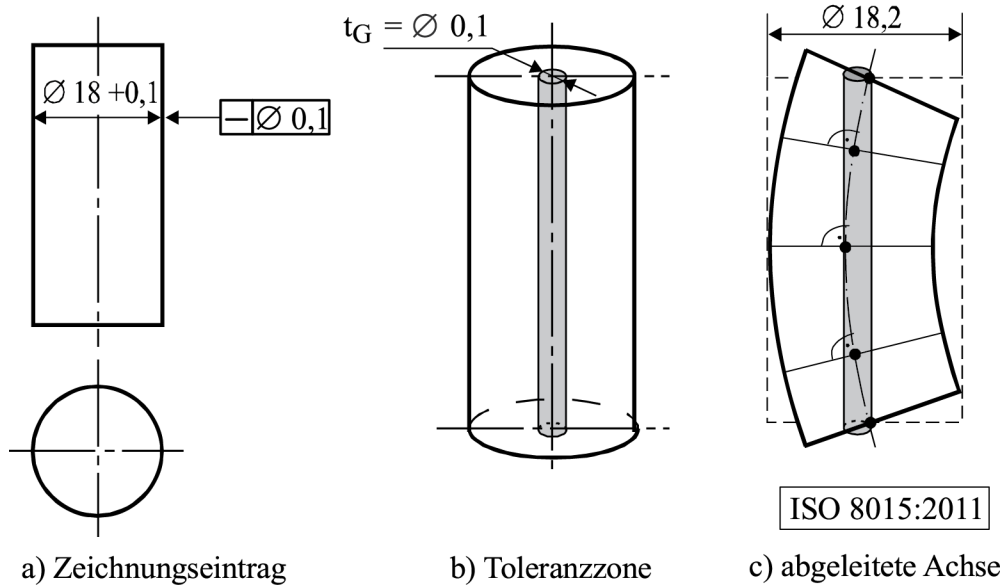


Abb. 7.2: Eintragung und Interpretation der Geradheitstoleranz einer Achse

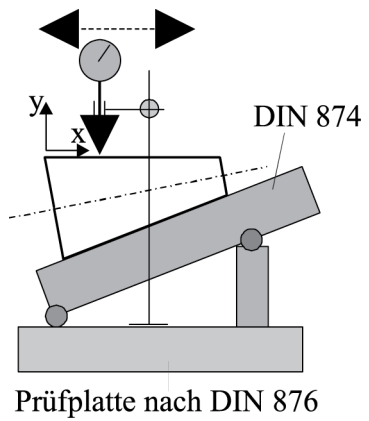


Abb 7.3: Prüfen einer Geradheitstoleranz mit Messuhr

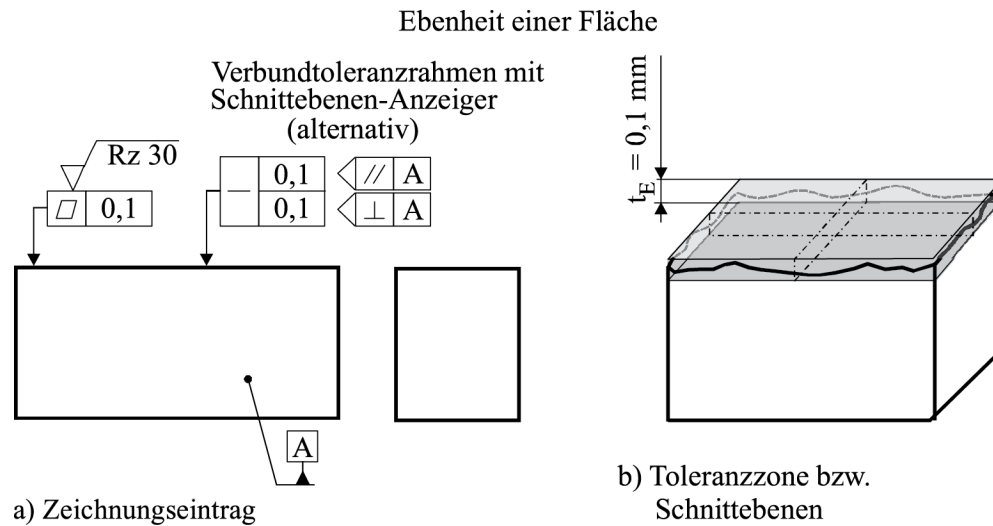


Abb. 7.4: Eintragung und Interpretation der Ebenheitstoleranz einer Deckfläche bzw. alternative Interpretation über zwei Geradheitstoleranzen

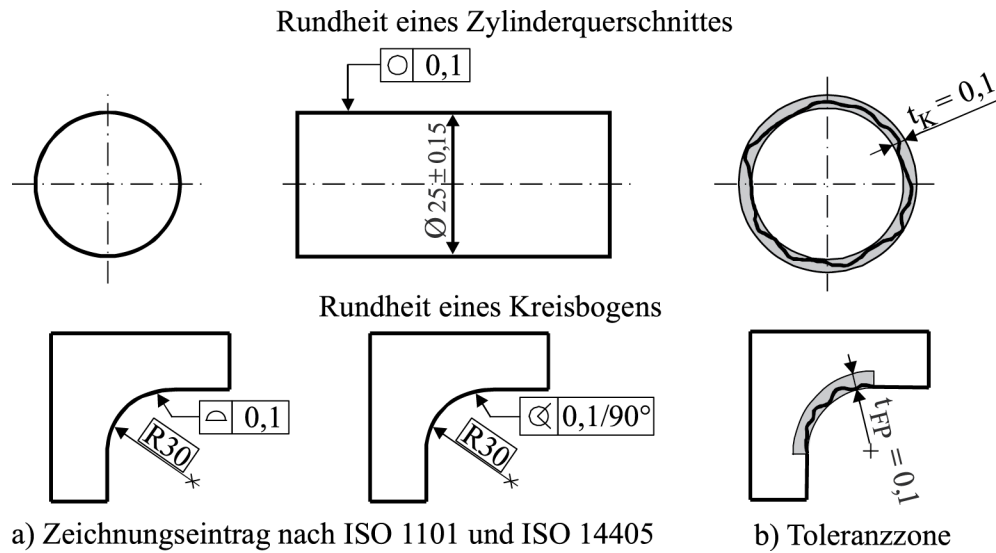


Abb. 7.5: Eintragung und Interpretation der Rundheit eines Zylinderquerschnittes bzw. eines Kreisbogens über Winkelsektor

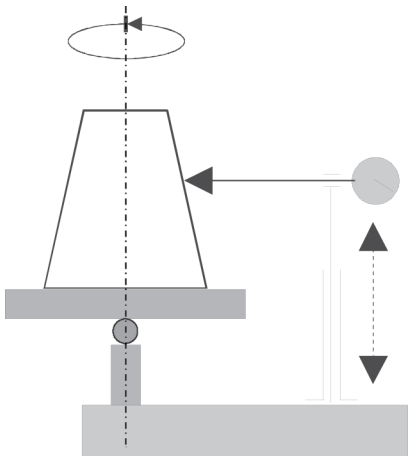
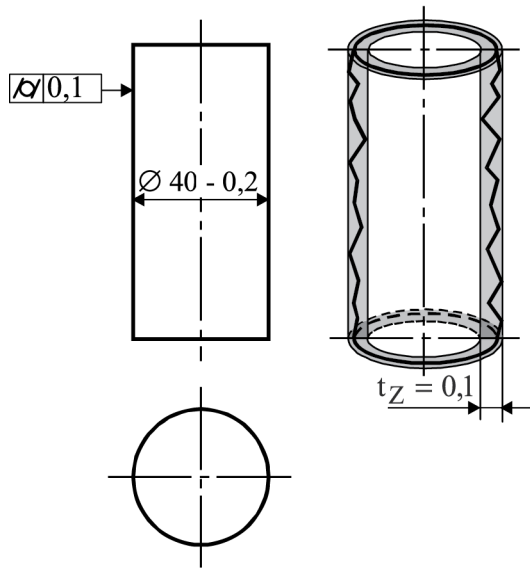


Abb 7.6: Rundheitsmessung mit Messuhr nach DIN EN 12181-1

Zylindrizität einer Zylindermantelfläche



a) Zeichnungseintrag b) Toleranzzone

Abb. 7.7: Eintragung und Interpretation der Zylindrizität einer Mantelfläche für ein Passbolzen

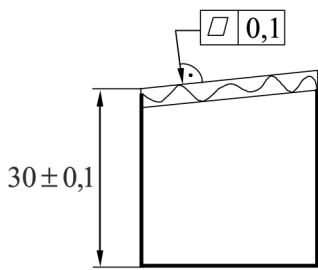
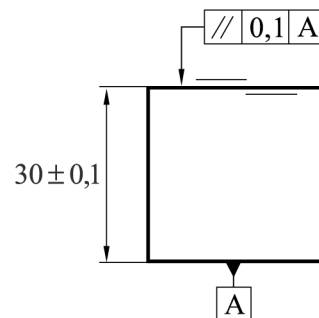
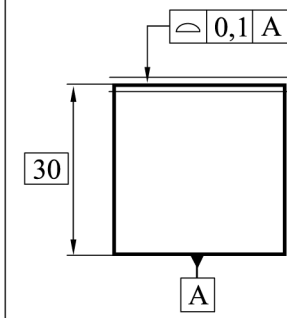
Form (ohne Bezug)	Richtung (Bezug für Abstand)	Ort (mit Bezug)
		
F-Toleranz „Ebenheit“ ist Flächenanforderung in „sich“.	L-Toleranz „Parallelität“ ist Ausrichtforderung zum Bezug.	L-Toleranz „Flächenform“ ist Ortsforderung zum Bezug.

Abb. 7.8: Alternative Nutzung von F+L-Toleranzen als Flächeneingrenzung

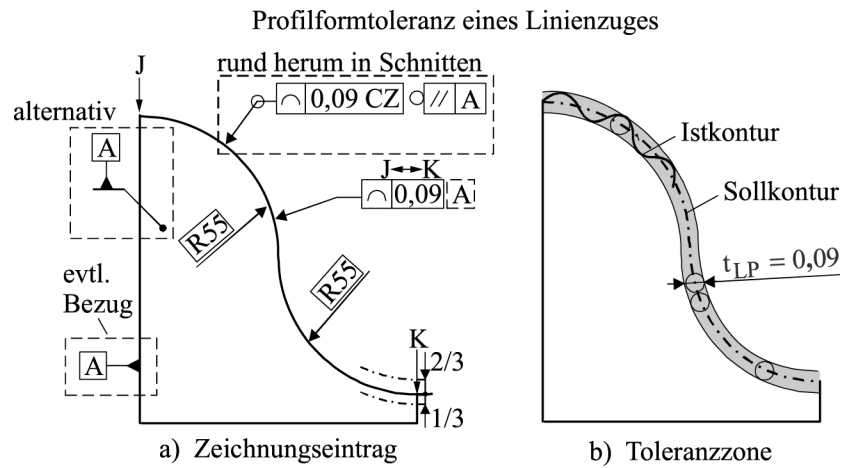
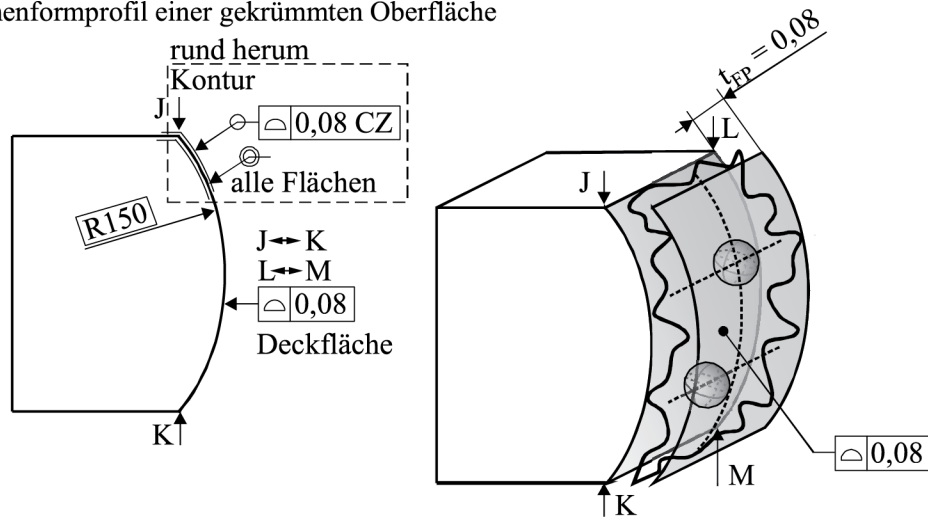


Abb. 7.9: Linienformtolerierung mit Angabe für Kurve und Alternative umlaufend für ganze Kontur

Flächenformprofil einer gekrümmten Oberfläche



a) 2D-Zeichnungseintrag

b) Toleranzzone und 3D-Zeichnungseintrag

Abb. 7.10: Flächenformprofil oder Flächenformtoleranz einer gekrümmten Oberfläche bzw. umlaufend

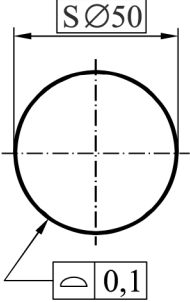
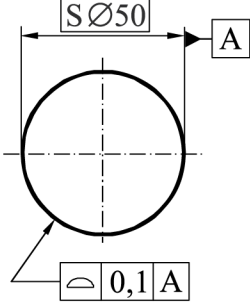
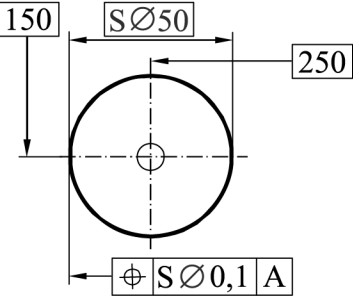
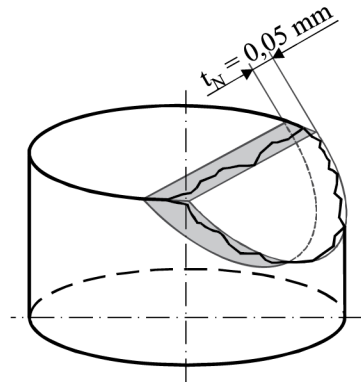
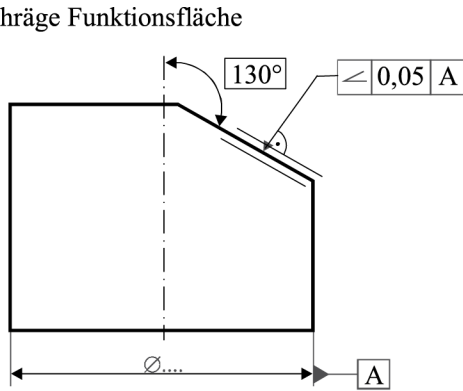
Form	Maß und Form	Maß, Form und Ort
 Technical drawing of a sphere with a diameter dimension of $S \varnothing 50$. A feature control frame points to the sphere with the form tolerance $0,1$.	 Technical drawing of a sphere with a diameter dimension of $S \varnothing 50$. A feature control frame points to the sphere with the form tolerance $0,1 A$ and a datum A.	 Technical drawing of a sphere with a diameter dimension of $S \varnothing 50$. A feature control frame points to the sphere with the form and location tolerance $\oplus S \varnothing 0,1 A$. Location dimensions of 150 and 250 are shown.
Maß ($S \varnothing 50$) variabel ($\pm 0,05$) Profiltoleranzzone variabel, Form begrenzt	Maß theoretisch genau Profiltoleranzzone fest	Maß theoretisch genau Profiltoleranzzone fest

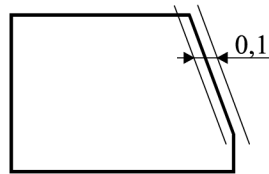
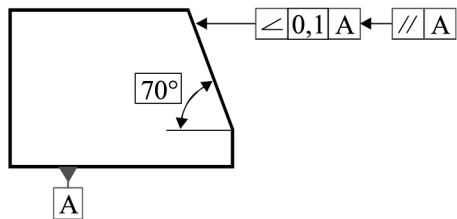
Abb. 7.11: Beispielhafte Übertragung von F+L-Toleranzen auf eine Kugel

a) schräge Funktionsfläche



Toleranzzone ist insgesamt um 130° gegen die Bezugsmittellinie geneigt

b) Festlegung einer anderen Meßrichtung



Toleranzzonen-Messrichtung

Abb. 7.12: Eintragung und Interpretation einer Neigungstolerierung

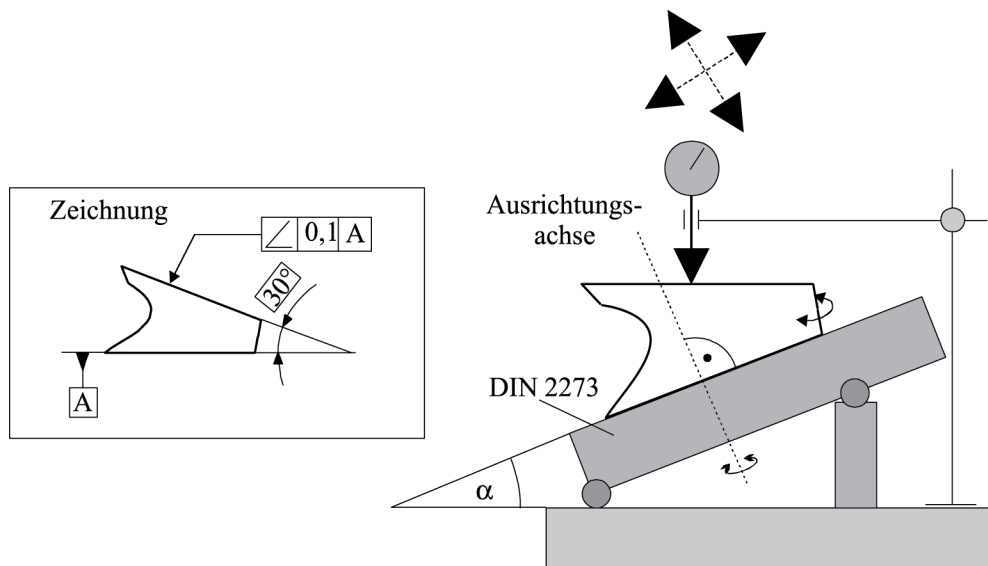


Abb. 7.13: Prüfverfahren für die Neigung

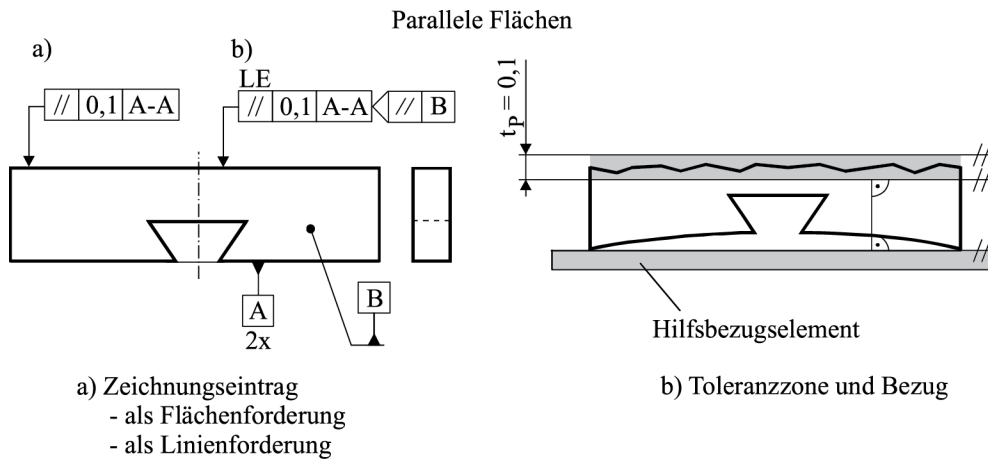
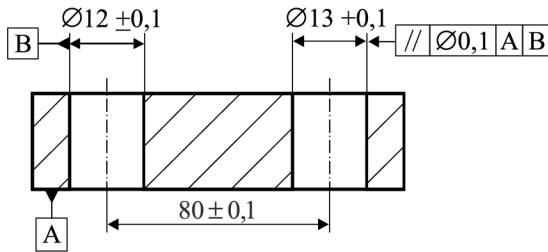
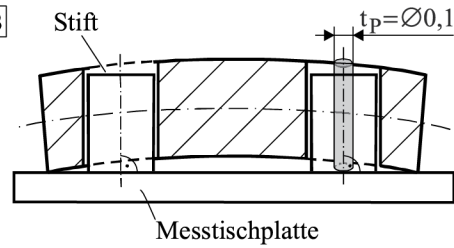


Abb. 7.14: Parallelität einer Ebene a) bzw. Linie b) – Zeichnungseintragung und Toleranzzone

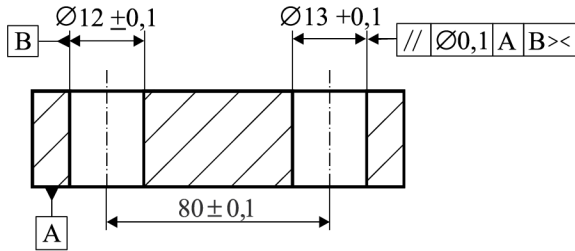
a1) Zeichnungseintrag



b) Bezug und Toleranzzone



a2) Zeichnungseintrag mit Ausrichtung nur auf den Bezug B



a3) Konizität (nicht genormt)

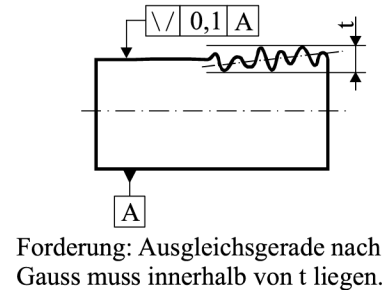


Abb. 7.15: Parallelität - Zeichnungseintrag und Toleranzzone

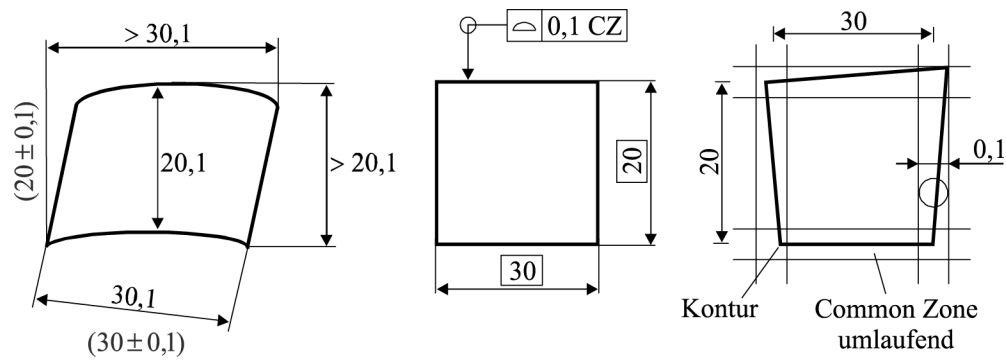
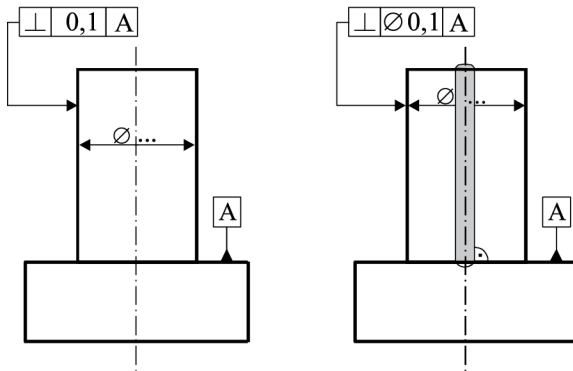


Abb. 7.16: Alternative Parallelitätsforderung für ein Fügeteil

a) Rechtwinkligkeit der Mantellinien bzw.
Mittellinie eines angedrehten Zapfens



b) Verlauf einer Mantellinie

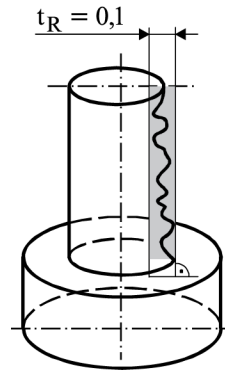


Abb. 7.17: Eintragung und Interpretation der Rechtwinkligkeitstoleranz an einer Mantellinie

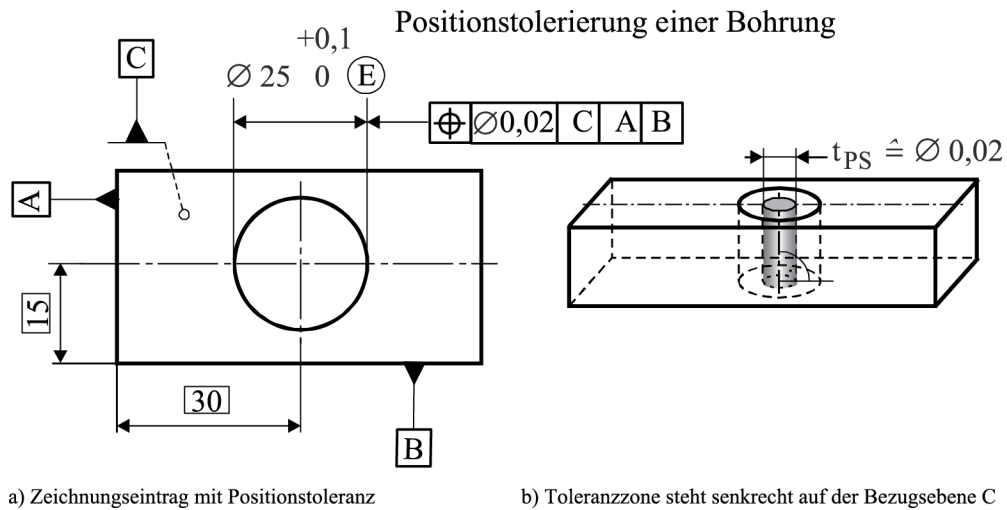
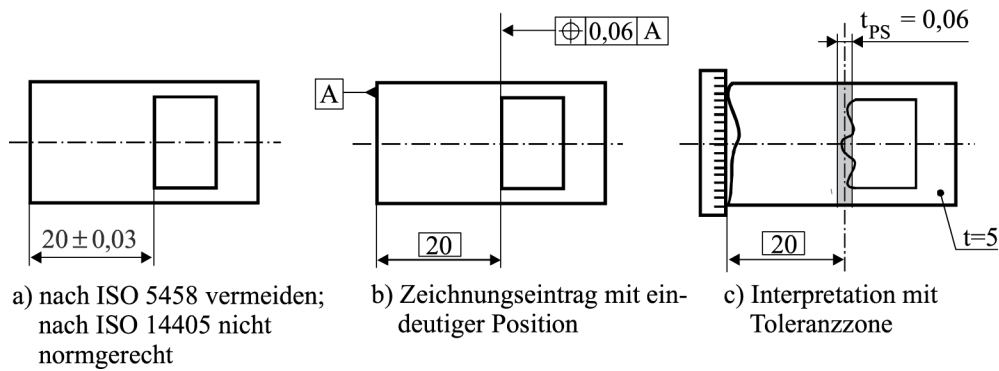


Abb. 7.18: Eintragung und Interpretation der Positionstolerierung einer Bohrung

Positionstolerierung der Kante einer Aussparung

**Abb. 7.19:** Positionstolerierung einer „festen“ Werkstückkante – Zeichnungseintrag und Toleranzzone

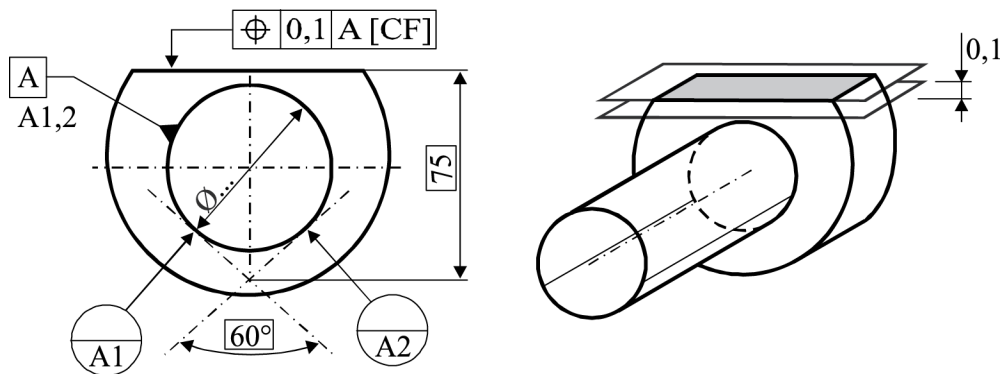
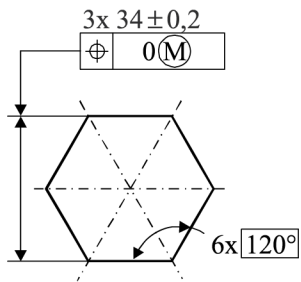
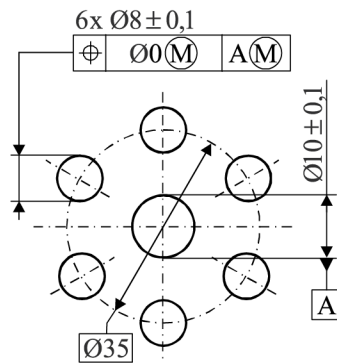


Abb. 7.20: Bezugsbildung über Bezugsstellen bzw. Hilfslinien von einem Prisma

a) Regelgeometrie



b) Lochkreis



c) Innennutmuster

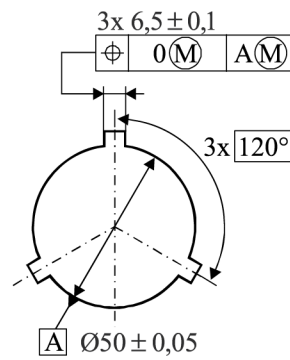
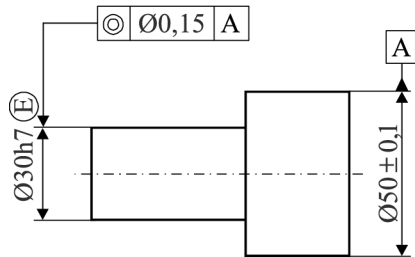


Abb. 7.21: Geometrische Anordnungsmuster von Geometrieelementen

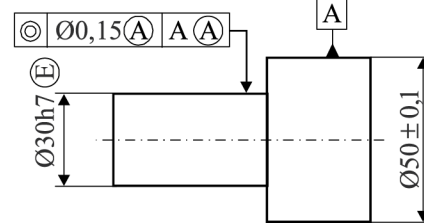
Abb. 7.22: Tolerierung von Lochbildern und die Interpretation der Symbolik

Zeichnungseintrag	Position der Löcher										
a 4 x Ø 8 +0,1 ⊕ Ø 0,1 C A B 18 8 0 10 24 0 B C A	18 8 0 10 24 0 $t = \varnothing 0,1$										
b Ø 8 +0,1 4 x Ø 0,05 t=5 26 10 8 10 14 44 nicht normgerecht!	10 14 $t = \varnothing 0,05$ geneigt, wegen Allgemeintol. auf den Deckschichten										
c Ø 8 +0,1 4 x Ø 0,05 C 10 8 10 14 nicht normgerecht!	10 14 $t = \varnothing 0,05$										
d 4 x Ø 8 +0,1 ⊕ Ø 0,1 C A B ⊕ Ø 0,05 C 18 8 10 24 B C A	Anmerkung: Funktionsanforderungen können oft auch alternativ beschrieben werden, wie z. B. <table><tr><td>⊕</td><td>Ø 0,1</td><td>C</td><td>A</td><td>B</td></tr><tr><td>⊥</td><td>Ø 0,05</td><td>C</td><td></td><td></td></tr></table>	⊕	Ø 0,1	C	A	B	⊥	Ø 0,05	C		
⊕	Ø 0,1	C	A	B							
⊥	Ø 0,05	C									

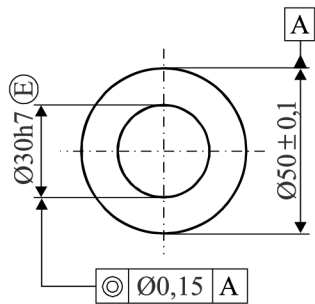
a) Vorderansicht eines Bolzens



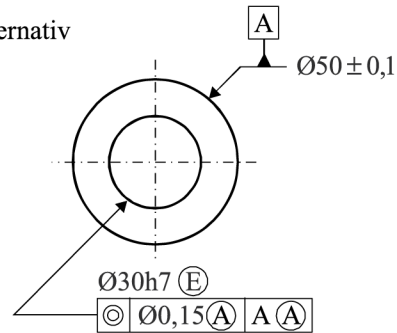
alternativ



b) gleiche Seitenansicht



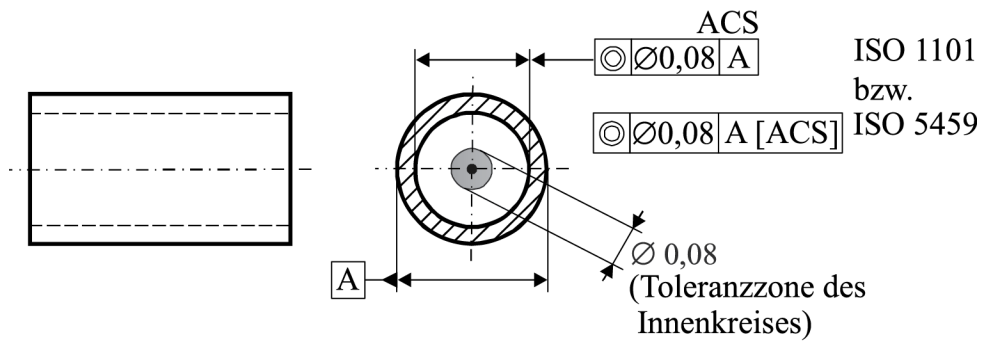
alternativ



Ⓐ Kennzeichnung abgeleiteter Geometrielemente (=Achse)

Abb. 7.23: Nutzung einer vereinfachten Darstellungsweise

a) Konzentrität mit ACS (gilt in jedem beliebigen Querschnitt)



b) Koaxialität von Zylindern

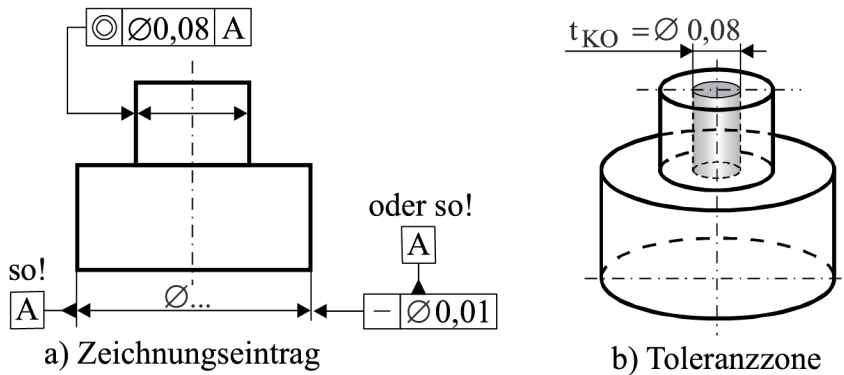
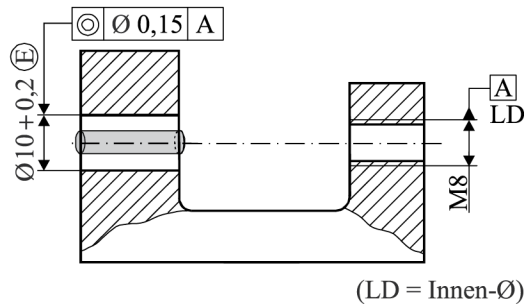


Abb. 7.24: Eintragung und Interpretation der Konzentritäts- und Koaxialitätstoleranz

a) Ausrichtung einer Bohrung nach einem Gewinde



b) Ausrichtung von Achsabsätzen

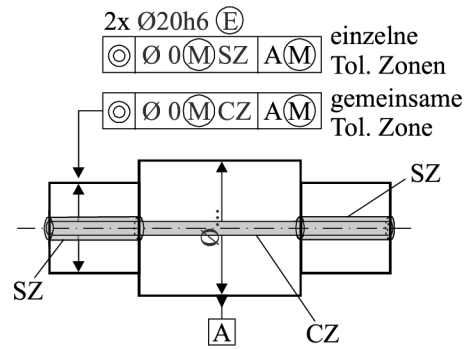
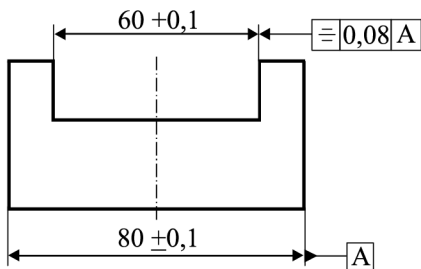


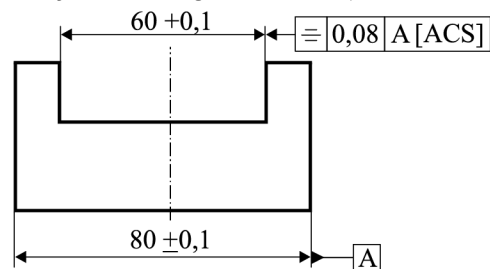
Abb. 7.25: Fluchten einzelner Geometrieelemente und verschiedene Toleranzzonen

a) Symmetrie für die Mittelebene einer einzubringenden Nut

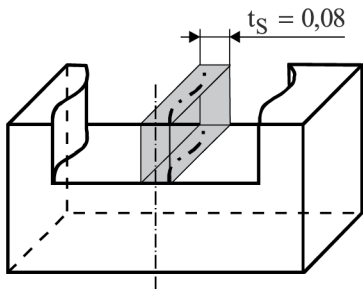
a1) Zeichnungseintrag für ganze Tiefe



a2) alternativer Zeichnungseintrag mit ACS
(jeder beliebige Querschnitt)



b) Toleranzzone über ganze Tiefe



c) Symmetrie für die Mitte einer Bohrung

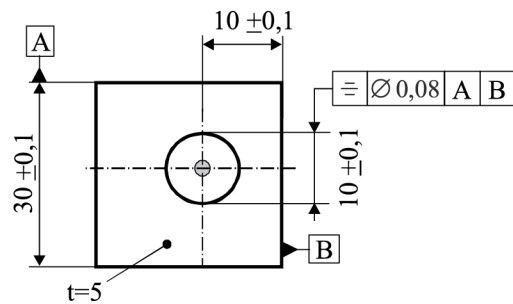


Abb. 7.26: Eintragung und Interpretation der Symmetrie von Mittelebenen von Geometrieelementen

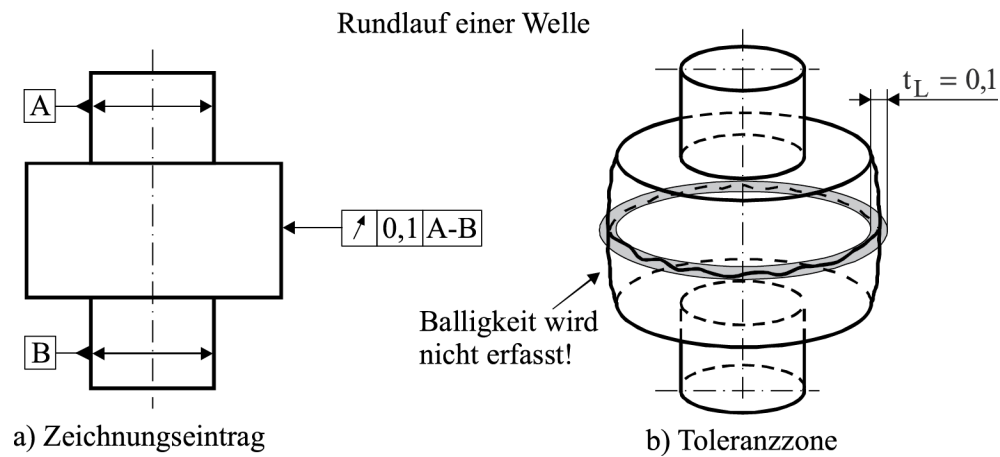
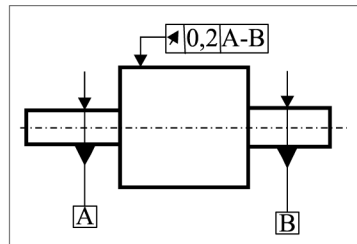
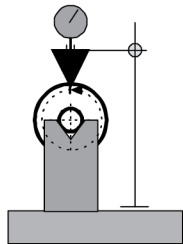


Abb. 7.27: Eintragung und Interpretation der Rundlauftoleranz

Zeichnungsangabe



Bezugselemente liegen in ausgerichteten Prüfprismen



Fluchtende Einspannung der Bezugselemente über Spitzen

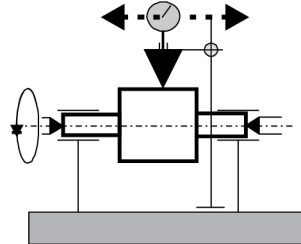


Abb. 7.28: Prüfverfahren für Rundlauf in zwei alternativen Aufbauten

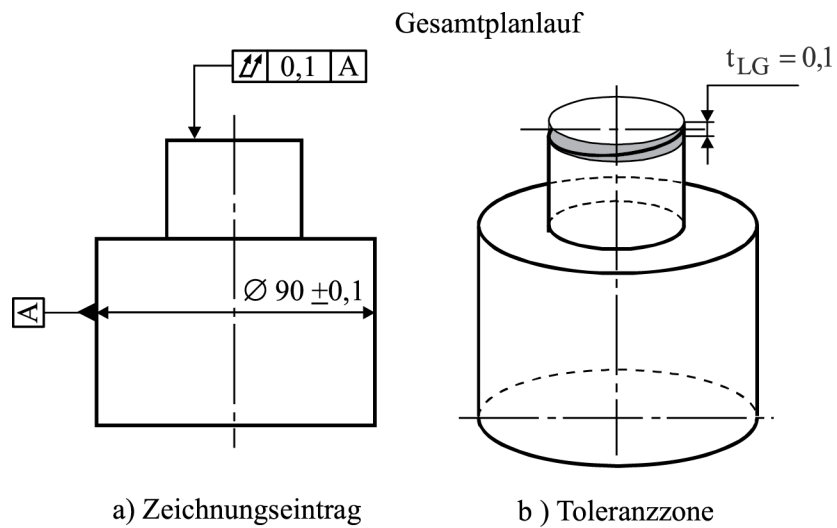


Abb. 7.29: Eintragung und Interpretation der Gesamtplanlauf toleranz

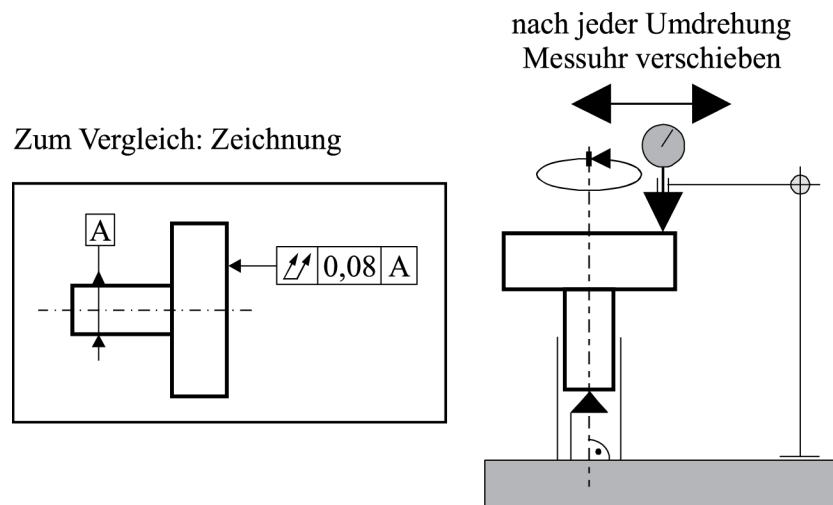


Abb. 7.30: Prüfung des Gesamtplanlaufs

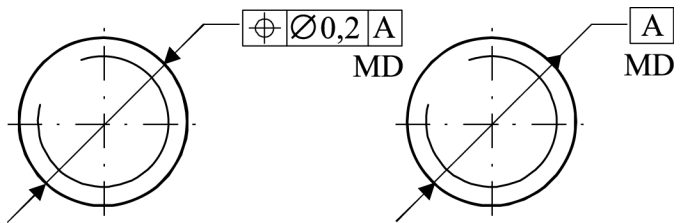


Abb. 7.31: Positionstoleranz und Bezug am Gewinde

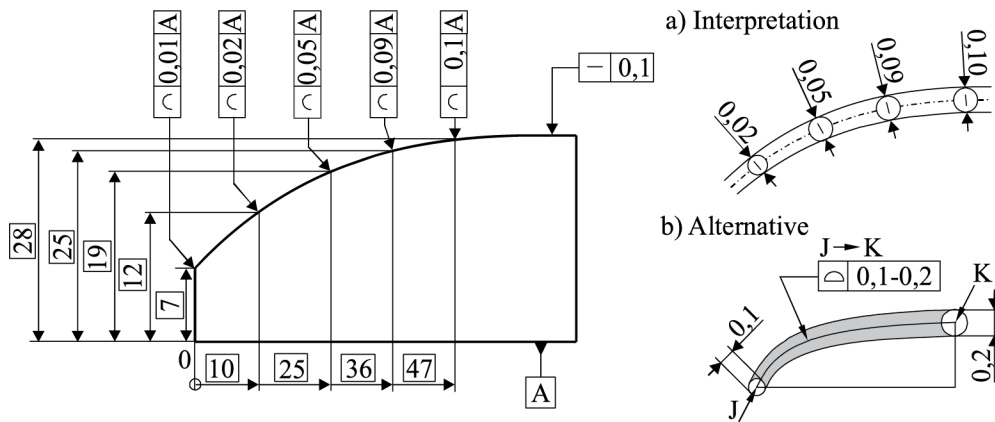


Abb. 7.32: Profiltoleranz einer Freiformkurve nach ISO 1660 (*Die Koordinatenbemaßung ist bewusst nach zwei Prinzipien durchgeführt worden.*)

a)	örtliches Maß (u. a. Zweipunktmaß)	c)	berechnetes Maß
b)	globales Maß	d)	Rangordnungsmaß (kleinstes, mittleres, größtes)

Tabelle 7.2: Anwendungsbereich der dimensionellen Tolerierung

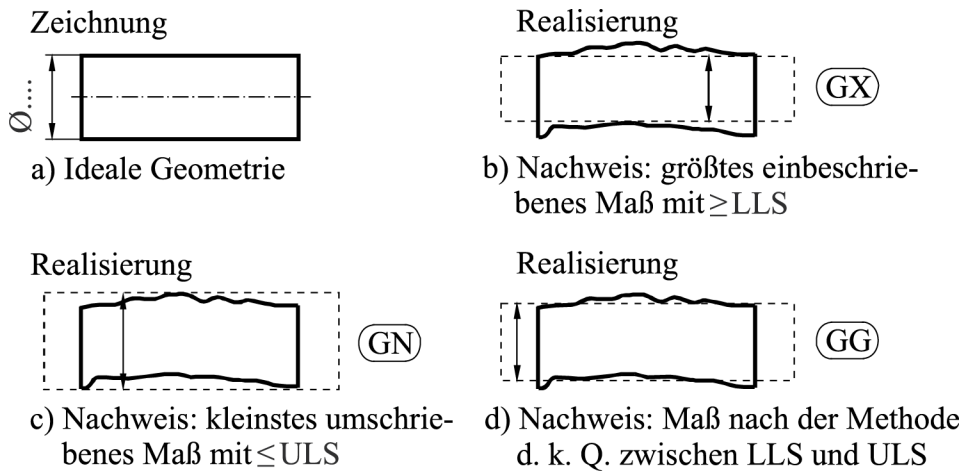


Abb. 7.33: Darstellung eines globalen Maßes über ein Maßelement

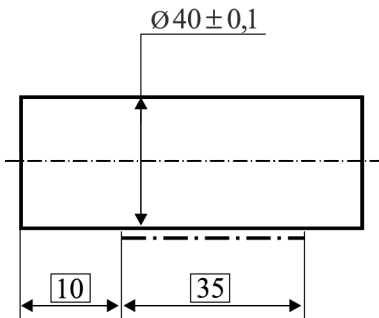
Anwendung	Modifikationssymbol
LP	Zweipunktmaß
LS	örtliches Maß, festgelegt durch eine Kugel
GG	Zuordnungskriterium nach der Methode der kleinsten Quadrate (Maß bestimmt nach der M. d. k. Q. nach Gauß)
GX	Zuordnungskriterium größtes eingeschriebenes Element (Maximum des eingeschriebenen Maßes = Pferchkreis)
GN	Zuordnungskriterium kleinstes umschriebenes Element (Minimum des umschriebenen Maßes = Hüllkreis)
CC	umfangbezogener Durchmesser
CA	flächenbezogener Durchmesser
CV	volumenbezogener Durchmesser
SX	größtes Rangordnungsmaß
SN	kleinstes Rangordnungsmaß
SA	mittleres Rangordnungsmaß (Mittelwert)
SM	Median des Rangordnungsmaßes
SD	Intervallmitte des Rangordnungsmaßes
SR	Spanne des Rangordnungsmaß

Tabelle 7.3: Spezifikations-Modifikationssymbol für Längenmaße

Beschreibung	Symbole	Eintragungsbeispiele
Hüllbedingung auf Teillänge bzw. für einzelnen Querschnitt	Ⓔ	$\varnothing 40 \pm 0,1$ Ⓔ /10 $\varnothing 40 \pm 0,1$ Ⓔ /0
beliebige eingeschränkte Teillänge	/Länge	$\varnothing 40 \pm 0,1$ Ⓔ /10
für einen beliebigen Querschnitt	ACS	$\varnothing 40 \pm 0,1$ Ⓔ /ACS
für eine festgelegte Querschnittsfläche	SCS	$\varnothing 40 \pm 0,1$ Ⓔ /SCS
mehr als ein Maßelement	Anzahl ×	$2 \times \varnothing 40 \pm 0,1$ Ⓔ
gemeinsame Toleranz	CT	$2 \times \varnothing 40 \pm 0,1$ Ⓔ CT
Bedingung des freien Zustands	Ⓕ	$\varnothing 40 \pm 0,1$ Ⓔ Ⓕ Ⓖ Ⓕ
zwischen	↔	$\varnothing 40 \pm 0,1$ A ↔ B

Tabelle 7.4: Anwendung von Spezifikations-Modifikationssymbolen mit beispielhaften Eintragungen

a) Bestimmter Teil über eingeschränkte Länge



b) Bestimmter Teil eingeschränkt über Streckensymbol "zwischen"

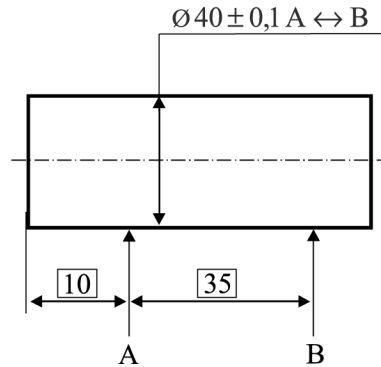
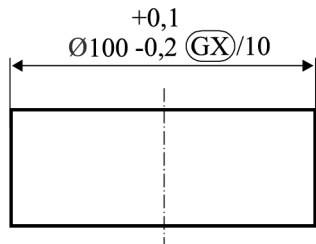


Abb. 7.34: Festlegung für einen bestimmten fest eingeschränkten Teilbereich durch TED-Maße

a) Verwendung des Symbols
(Länge)



b) Verwendung des Streckensymbols
"zwischen"

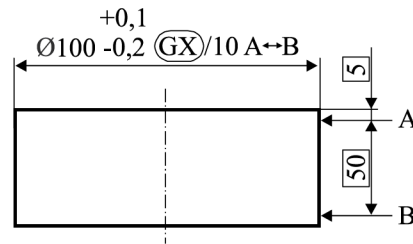


Abb. 7.35: Forderung für irgendeinen eingeschränkten Teilbereich eines Maßelementes

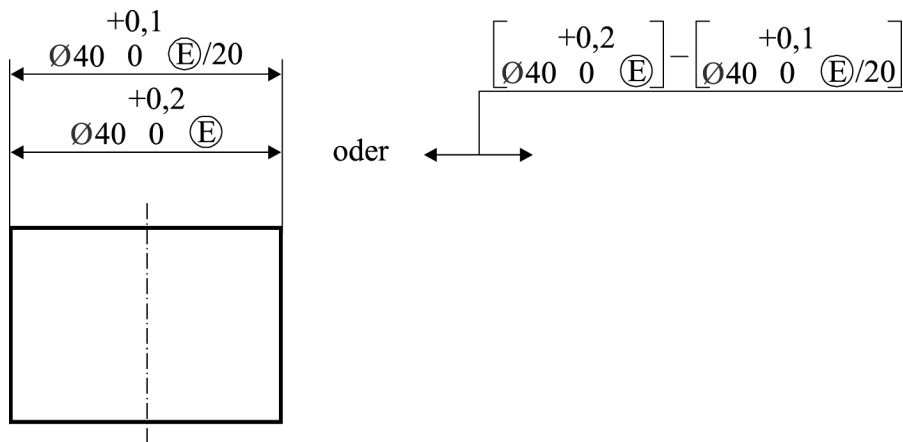


Abb 7.36: Mehrere Anforderungen für einen eingeschränkten Teilbereich eines Maßelementes

Verwendung des Modifikationssymbols “ACS ”

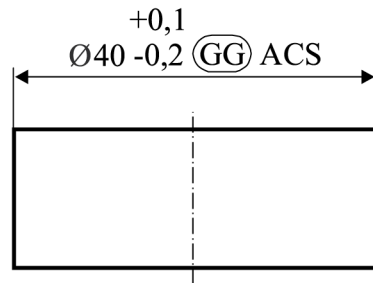
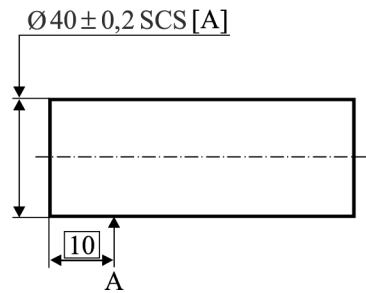
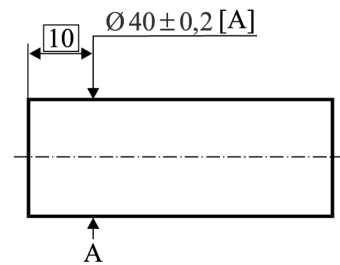


Abb. 7.37: Anforderung für einen beliebigen Querschnitt des zylindrischen Maßelements

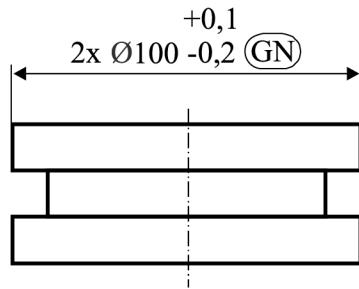
a) Modifikationssymbol SCS eingetragen



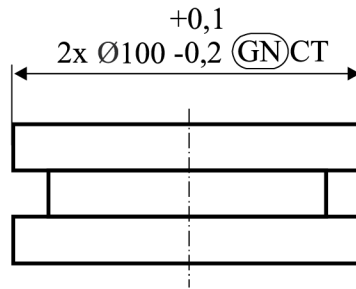
b) Modifikationssymbol SCS weggelassen

**Abb. 7.38:** Anforderung für einen bestimmten Querschnitt eines Maßelements

- a) Gleiche Anforderungen für zwei, jeweils für sich ausgewertete, getrennte Maßelemente



- b) Gemeinsame Toleranz für zwei getrennte Maßelemente



$\textcircled{\text{GN}}$ = Hüllmaß

Abb. 7.39: Gleiche oder gemeinsame Anforderung für zwei getrennte Maßelemente für das kleinste umschriebene Maß

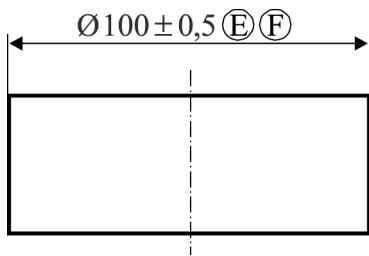


Abb. 7.40: Hüllbedingung für nicht formstabiles Teil

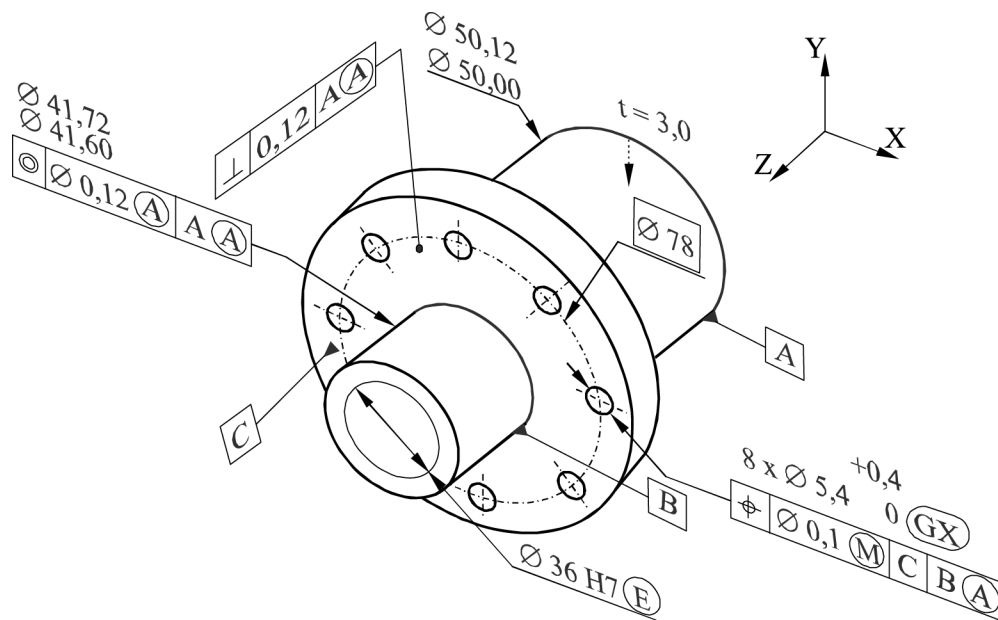


Abb. 7.41: vereinfacht bemaßtes 3D-Modell nach ISO-Normung

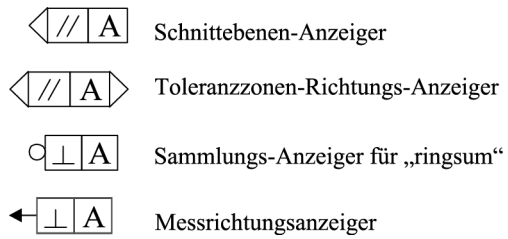


Abb. 7.42: Anzeiger für Toleranzzonen nach ISO 1101

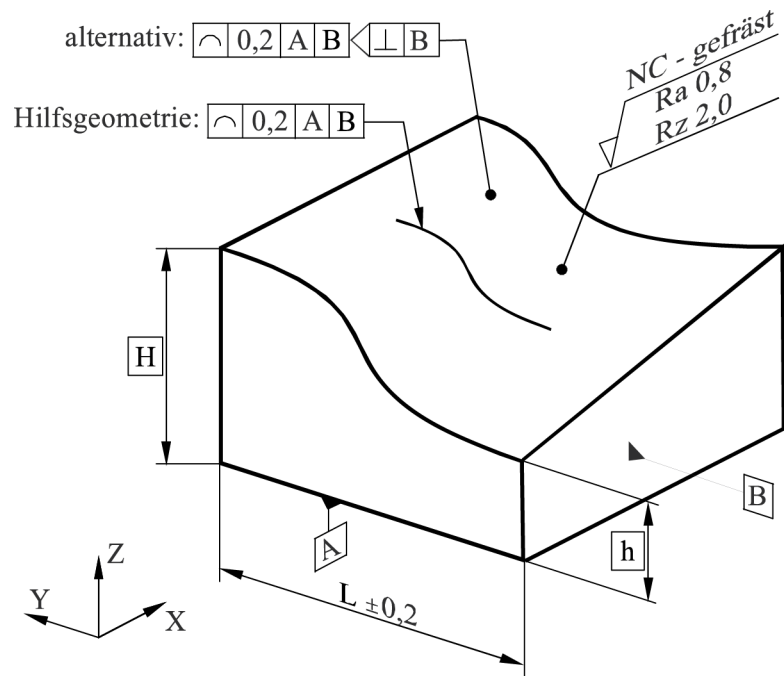


Abb. 7.43: Alternative Festlegung von Toleranzzonen

Fertigungsverfahren	Norm	vorhandene Toleranzen	enthält Tolerierungsgrundsatz
Metallguss/ Gussstücke	DIN 1680 – DIN 1688	Maße, FS, BZ	Festlegung als Hüllprinzip
	ISO 8062-3	Maße, F+L, BZ	
Kunststoffspritzguss	DIN 16472	Maße, W, F+L	Unabhängigkeit
Kunststoff-Halbzeuge	DIN EN 15860	Maße; $\text{---} \bigcirc \odot$	
Keramik	DIN 40680	Maße; $\text{---} \square$	
Gummi	DIN 3302-1/2	Maße; $\square // \perp \odot$	
Gesenkschmied St	DIN 7526	Maße, R; FV, BZ; $\text{---} \square$ $\perp$ (nur tiefe Löcher)	entspricht in etwa Hüllprinzip
Gesenkschmied Al	DIN EN 586-3	Maße, FV; $\square$	
Freiformschmied St	DIN 7527	Maße, BZ; $\odot$	
Freiformschmied Al	DIN 71606	Maße; $\square$	
Strangpressen Al	DIN EN 755-9	Maße, R; $\text{---} \square \bigcirc \perp \angle$; $\odot \equiv$ (über Wanddicke)	entspricht in etwa Hüllprinzip
	DIN EN 12020-1/2	Maße, R; $\text{---} \square$ $// \perp \angle$ $\odot \equiv$ (über Wanddicke)	
Schweißen	DIN EN ISO 13920	Maße, W; $// \text{---} \square$	Unabhängigkeitsprinzip vorgeschrieben
Thermoschneiden	DIN 2310	Maße; $\perp \angle$ (im Profil)	Unabhängigkeitsprinzip vorgeschrieben
Stanzen	DIN 6930-2	Maße, R, W; $\odot \equiv$ $\text{---} \square$ (nur für Profile)	
spanende Fertigung	DIN ISO 2768	Maße, W, alle F+L	

Abkürzungen in der Tabelle:

BZ: Bearbeitungszugabe FS: Formschräge FV: Formversatz
F+L: Form- und Lagetoleranzen R: Radienmaße W: Winkelmaße

Tabelle 8.1: Allgemeintoleranzen für verschiedene Fertigungsverfahren

Tolerierte Eigenschaften	Begrenzungen	
	Toleranzarten	eingeschlossene Toleranzen
Geradheit Rundheit Parallelität Ebenheit Rechtwinkligkeit Symmetrie Gesamtlauf	Zylindrizität	Rundheit, Geradheit und Parallelität sowie gegebenenfalls Hüllbedingung
	Linienprofil, Flächenprofil	Ebenheit, gegebenenfalls Parallelität
	Neigung	Winkeltoleranzen
	Position	teilweise durch Maßtoleranzen
	Koaxialität	Lauf
	Lauf	Rundheit, Geradheit Parallelität (bei Gesamtlauf) bzw. Rechtwinkligkeit (bei Planlauf)

Tabelle 8.2: Durch Allgemeintoleranzen (ISO 2768, T. 2) direkt und indirekt begrenzte Geometrieabweichungen nach /JOR 04/

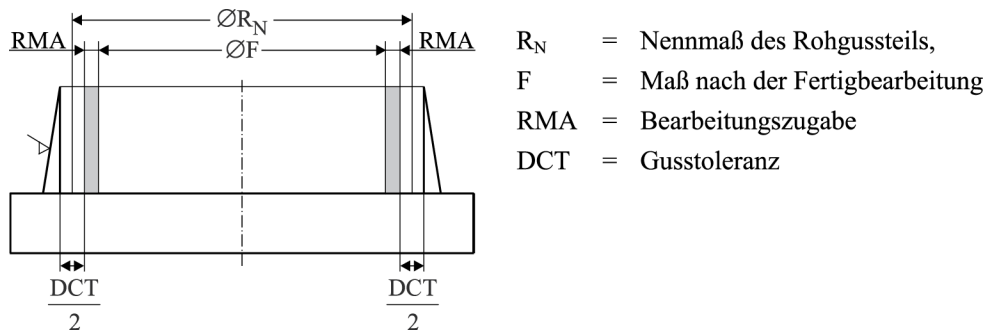


Abb. 8.1: Maßbeziehungen an einer rotationssymmetrischen Außenkontur

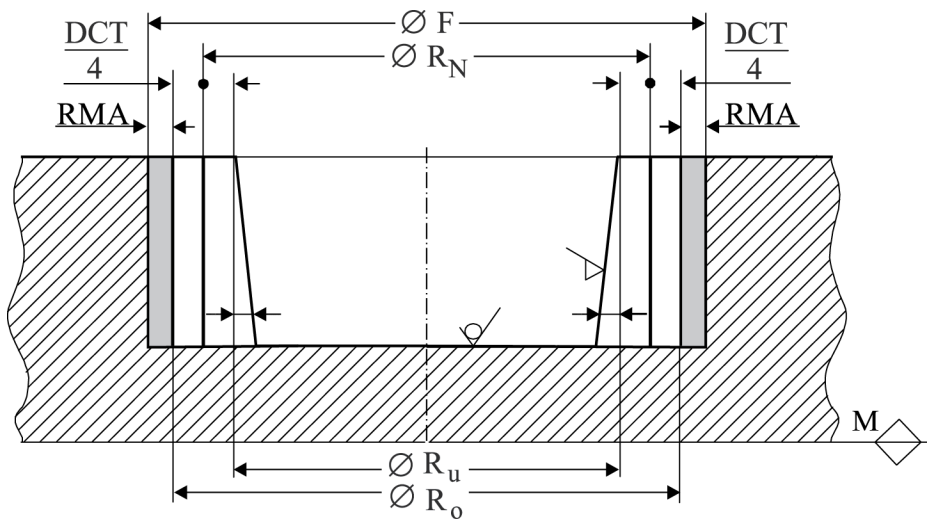


Abb. 8.2: Maßbeziehungen an einer Innenkontur mit Formschräge

Nennmaß des Formteils		Längenmaßtoleranzen für Gussstücke (DCT) als Toleranzgrade in Millimeter							
von	bis	7	8	9	10	11	12	13	14
100	160	1,2	1,8	2,5	3,6	5	7	10	12
160	250	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11	14
250	400	1,6	2,2	3,2	4,4	6,2	9	12	16
400	630	1,8	2,6	3,6	5	7	10	14	18
630	1.000	2	2,8	4	6	8	11	16	20
1.000	1.600	2,2	3,2	4,6	7	9	13	18	23
1.600	2.500	2,6	3,8	5,4	8	10	15	21	26

Tabelle 8.3: Längenmaßtoleranzen in Abhängigkeit vom Nennmaß nach DIN EN ISO 8062

Fertigungsverfahren	DCT-Werte für Material- bzw. Legierung		
	Stahl und Grauguss	Kupfer- und Zink-Legierungen	Leichtmetall-Legierungen
Sandformen, händisch eingeformt	11–14	10–13	9–12
Sandformen, maschinell eingeformt	8–12	8–10	7–9
Druckguss/Feinguss	„Werte sollten mit der Gießerei vereinbart werden.“		

Tabelle 8.4: Zuordnung von Toleranzgraden zu Gussstücken

Größtes Maß		Toleranzgrad der Bearbeitungszugaben (RMAG)							
von	bis	C	D	E	F	G	H	J	K
63	100	0,4	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8	4
100	160	0,5	0,8	1,1	1,5	2,2	3	4	6
160	250	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8
250	400	0,9	1,3	1,8	2,5	3,5	5	7	10
400	630	1,1	1,5	2,2	3	4	6	9	12
630	1.000	1,2	1,8	2,5	3,5	5	7	10	14
1.000	1.600	1,4	2	2,8	4	5,5	8	11	16
1.600	2.500	1,6	2,2	3,2	4,5	6	9	13	18

Tabelle 8.5: Erforderliche Bearbeitungszugaben (RMA) für Gussstücke

Fertigungsverfahren	Material- bzw. Legierung				
	Stahl	Grauguss	Kupfer-Legierungen	Zink-Legierungen	Leichtmetall-Legierungen
Sandformen, händisch eingeformt	G-K	F-H	F-H	F-H	F-H
Sandformen, maschinell eingeformt	F-H	E-G	E-G	E-G	E-G
dauerhafte Metallform, Niederdruck	–	D-F	D-F	D-F	D-F
Druckguss	–	–	B-D	B-D	B-D
Präzisionsguss	E	E	E	–	E

Tabelle 8.6: Abhängigkeit des Toleranzgrades vom Fertigungsverfahren und dem Werkstoff

Freiformschmieden	
Norm	Schmiedeteil
DIN 7527, Bl. 1	Scheiben
DIN 7527, Bl. 2	Lochscheiben
DIN 7527, Bl. 3	Ringe
DIN 7527, Bl. 4	Buchsen
DIN 7527, Bl. 5	gerollte und geschweißte Ringe
DIN 7527, Bl. 6	Stäbe

Tabelle 8.7: Normen über Abweichungen und Bearbeitungszugaben von Freiformschmiedeteilen

Gesens Schmieden	
Norm	Werkstoff/Verfahren/Geometrie
DIN EN 10243-1	Stahl/Warmverarbeitung in Hämmern und Senkrecht-Pressen
DIN EN 10243-2	Stahl/Warmverarbeitung in Waagrecht-Stauchmaschinen
DIN 7523, T. 2	Stahl/Gesens Schmieden/Bearbeitungszugaben, Schrägen, Rundungen, Kehlen, Dicken, Breiten
DIN 586-3	Aluminium/Schmiedestücke/Grenzabmaße und Formtoleranzen

Tabelle 8.8: Normen über Maß- und Geometrieabweichungen für Gesens Schmiedeteile

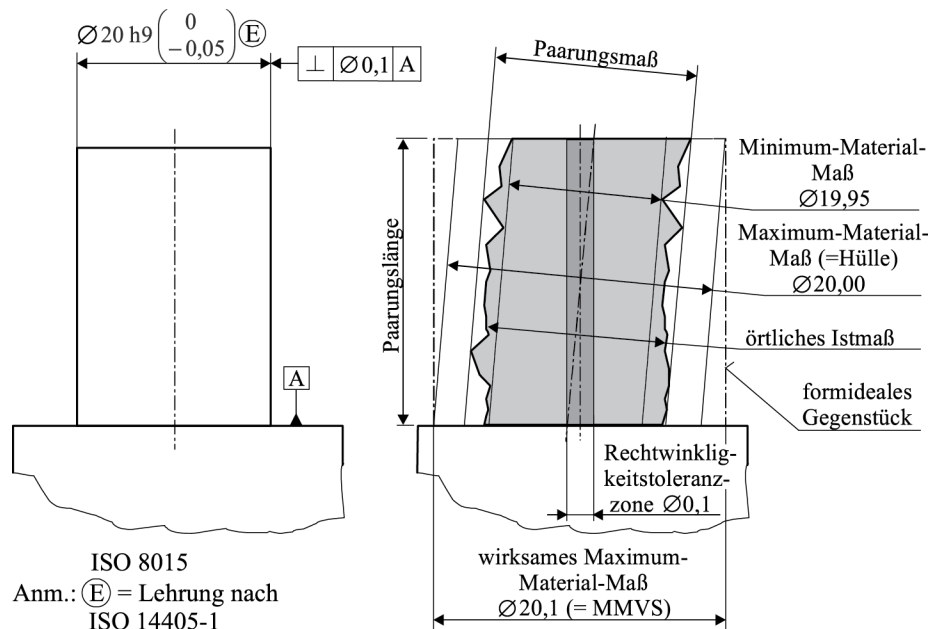


Abb. 9.1: Normgerechte Maß- und Zustandsdefinitionen an einem Geometrieelement

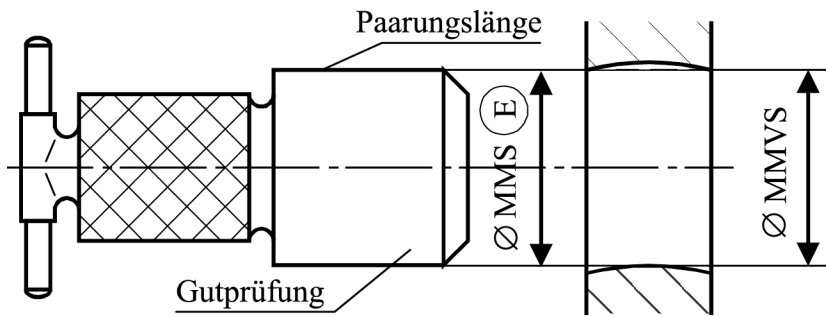


Abb. 9.2: Starre Lehre nach Taylor (engl. Pat. Nr. 6900 von 1905) für Bohrungen

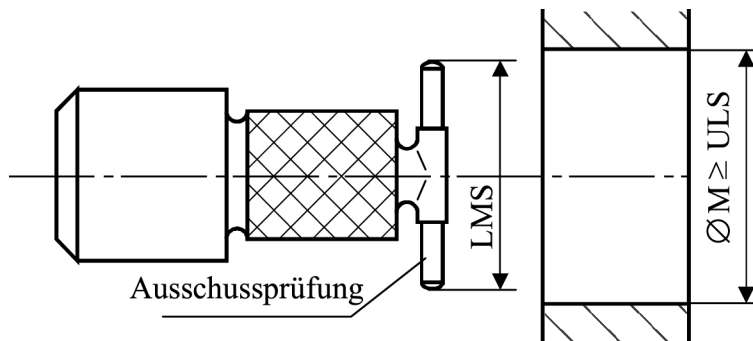


Abb. 9.3: Ausschussprüfung nach Taylor als LML-Prüfung

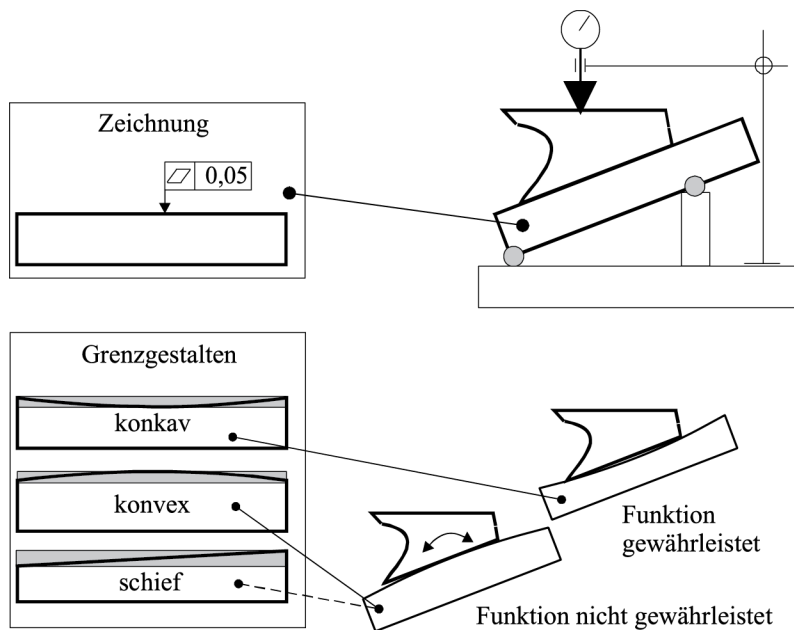
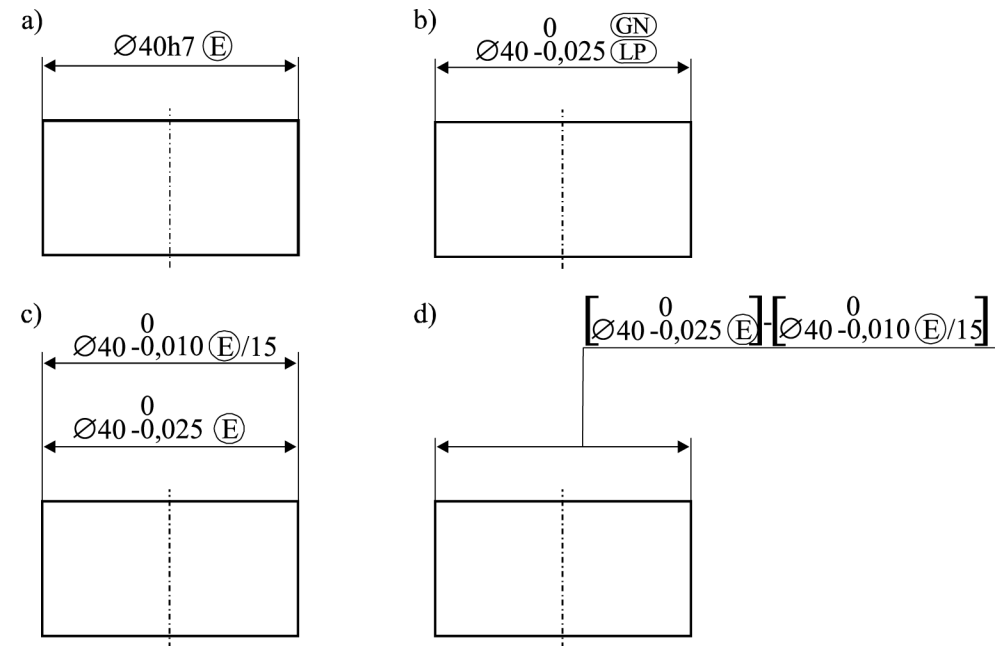
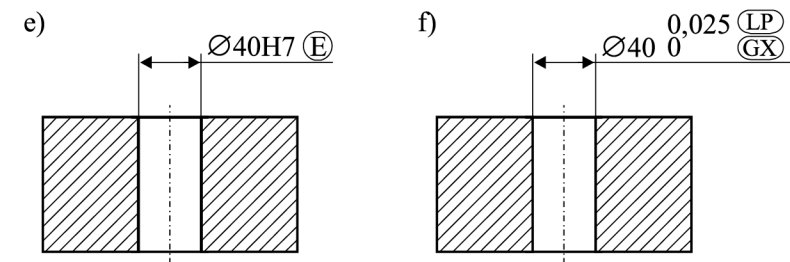


Abb. 9.4: Beispiel für die Bedeutung der Grenzgestalt für ein Bauteil bzw. im Zusammenwirken von Bauteilen

Abb. 9.5: Verschiedene Angaben der Hüllbedingung nach gültigen ISO-Normen

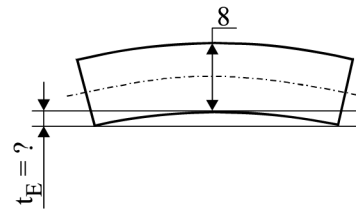
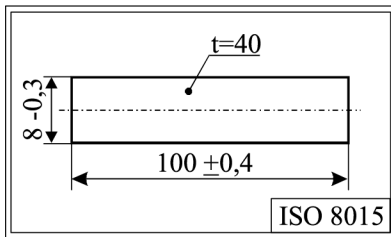


Wenn Bohrungen nicht näher spezifiziert sind, sind beliebige Geometrieabweichungen möglich und zulässig.



Legende: a + b) HB für ein äußeres Maßelement mit alternativer Spezifikation
 c + d) HB für Gesamtlänge und „schärfer“ für eingeschränkte Länge von 15 mm
 e + f) HB für ein inneres Maßelement mit alternativer Spezifikation

a) unvollständige Tolerierung



b) vollständige Tolerierung

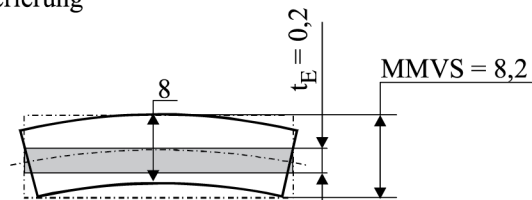
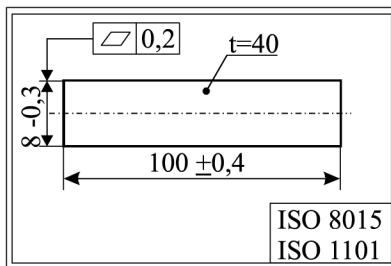
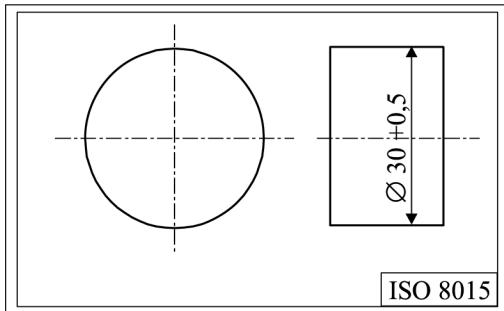
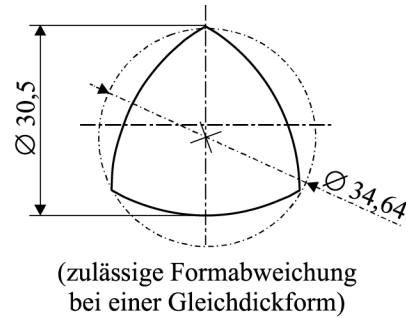


Abb. 10.1: Unvollständige bzw. vollständige Ebenheitstolerierung nach ISO 8015

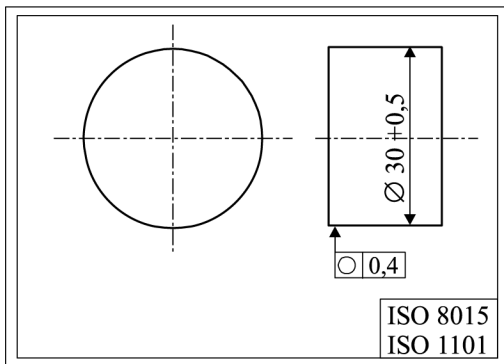
a) unvollständige Tolerierung



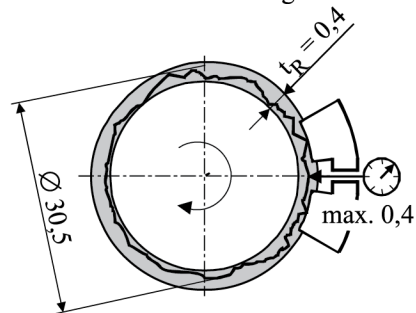
b) Auswirkung auf die Formabweichung



c) vollständige Tolerierung



d) Auswirkung auf die Formabweichung

**Abb. 10.2:** Unvollständige bzw. vollständige Rundheitstolerierung

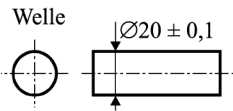
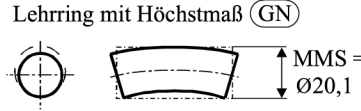
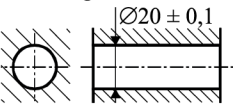
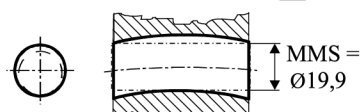
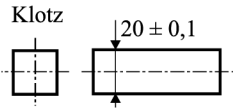
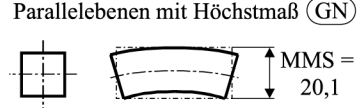
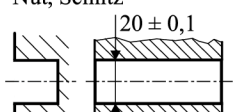
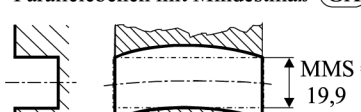
Formelement	Zeichnung	Beispiele für Maßelemente und Hülle	Default Kriterien
Kreiszylinder (Welle)			Zweipunktmaß + Geradheit Rundheit Zylinderform
Kreiszylinder (Bohrung)			
Parallelebenen (außen)			Zweipunktmaß + Geradheit Ebenheit + Parallelität
Parallelebenen (innen)			

Tabelle 10.1: Darstellung der Hülle für charakteristische Geometrieelemente. Maßtoleranz schränkt die Form- und Parallelitätsabweichung ein.

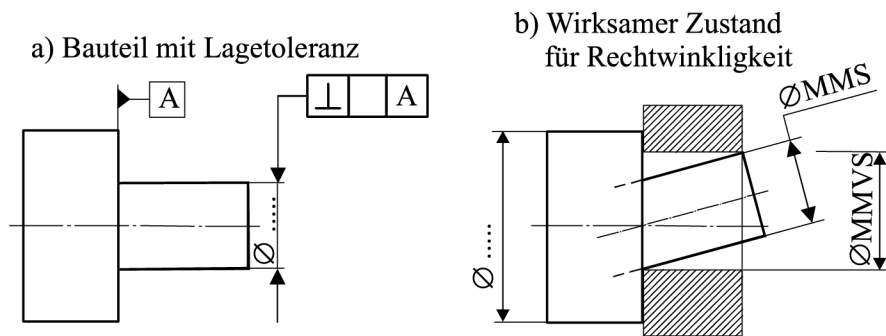
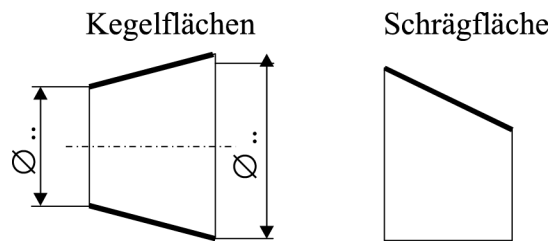


Abb. 10.3: Prüfung der Rechtwinkligkeitsabweichung mit einem Leerring nach Weinhold



Abb, 10.4: Keine Hülle definiert für Kegel und Schrägen

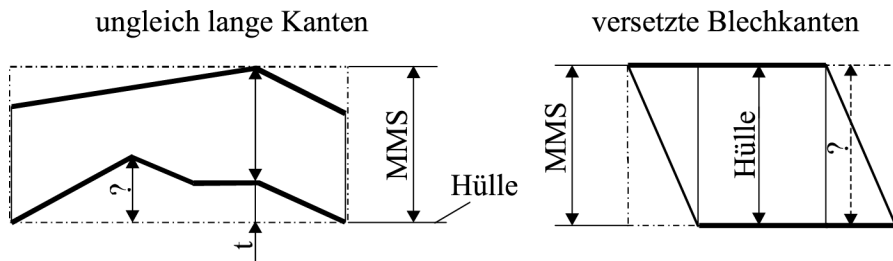


Abb. 10.5: Keine Hülle für ungleich lange und versetzte Kanten

nicht gegenüberliegende Kanten

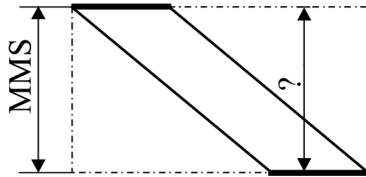


Abb. 10.6: Keine Hülle für nicht gegenüberliegende Kanten

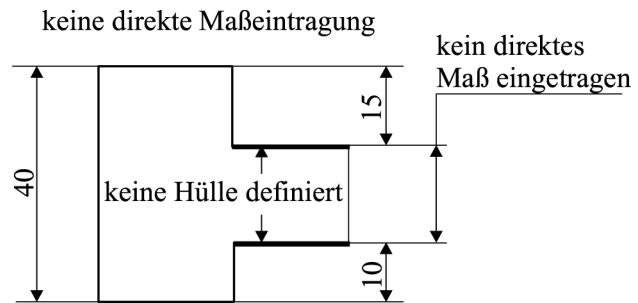


Abb. 10.7: Keine Hülle für nicht direkt bemaßte Kanten

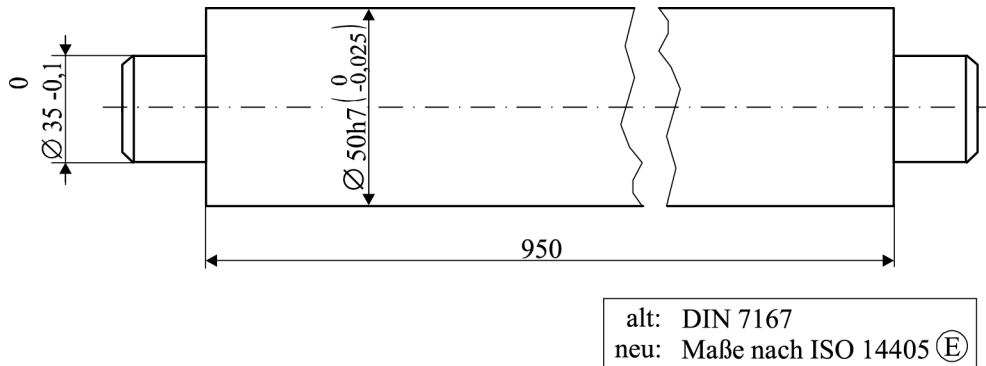


Abb. 10.8: Vermaßte Zeichnung einer Welle für eine „deutsche Fertigungsstätte“

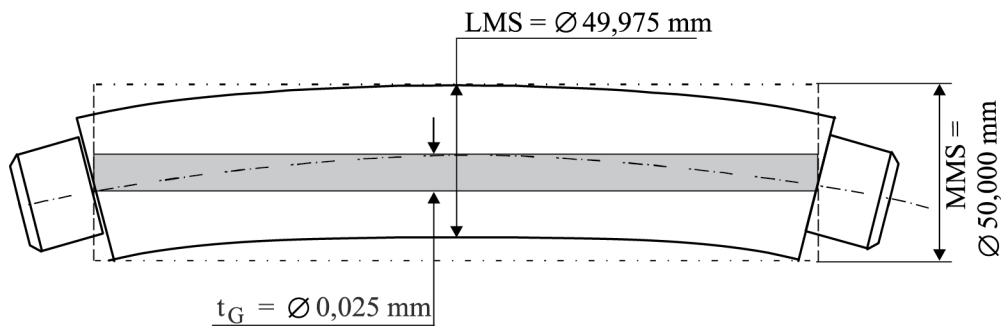


Abb. 10.9: Welle mit zulässiger Formabweichung von der Geradheit gemäß dem Hüllprinzip

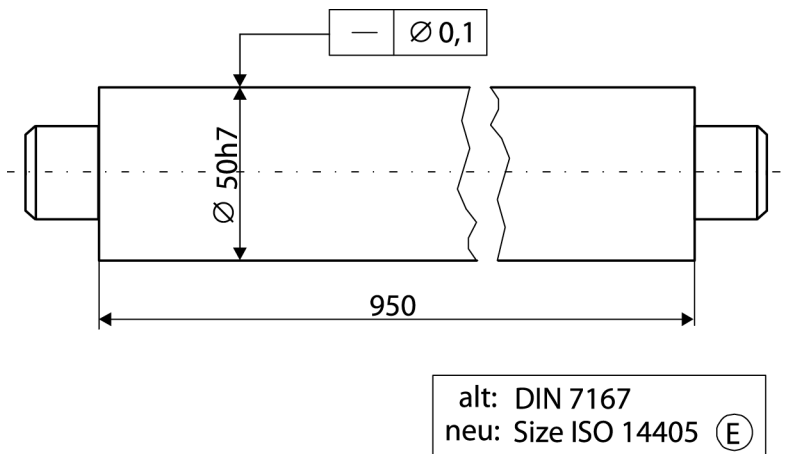


Abb. 10.10: Partielle Aufhebung des Hüllprinzips durch Angabe einer vergrößerten Geradheitstoleranz (Zeichnung der Welle)

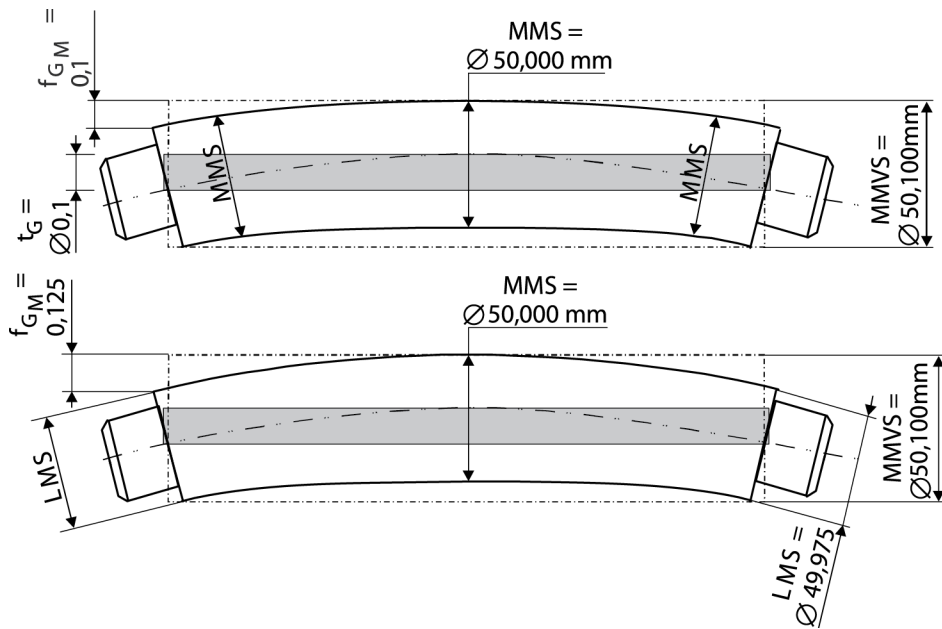
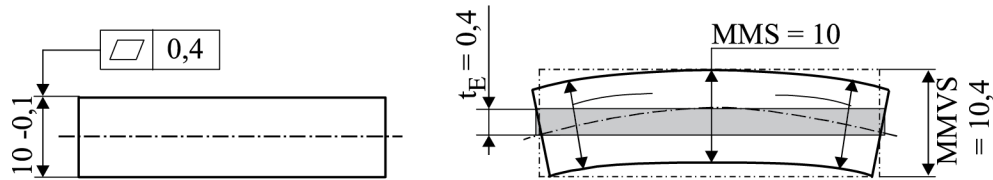


Abb. 10.11: Zulässige Toleranzen bei partieller Aufhebung des Hüllprinzips

- a) Tolerierung der Mittelebene wegen Paarungsfähigkeit
Zeichnungsdarstellung und zulässige Ausführung
(führt zum wirksamen Zustand MMVS)



- b) Tolerierung der oberen Fläche keine Paarungsfähigkeit verlangt!
(kein wirksamer Zustand definiert, keine Hülle)

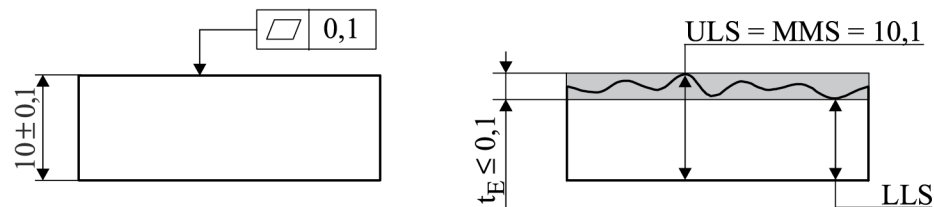
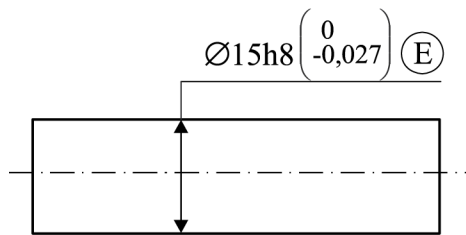


Abb. 10.12: Partielle Aufhebung der Hüllbedingung für Ebenheit bei einem Führungsklotz nach DIN 7167

a) In ISO 8015/ISO 14405



b) In alter DIN 7167

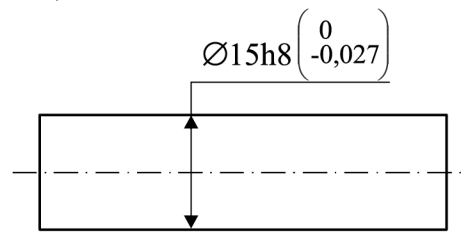


Abb. 10.13: Festlegung der Hüllbedingung nach den beiden Tolerierungsprinzipien bei einem zylindrischen Geometrieelement mit Passfunktionalität

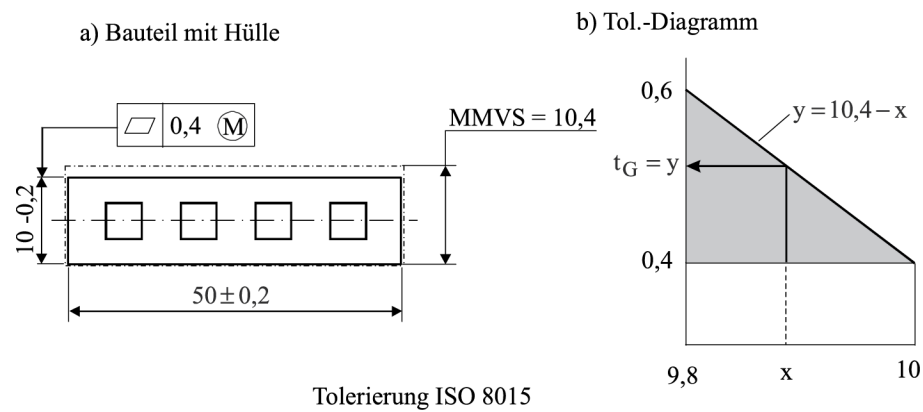


Abb. 10.14: Beispiel für Maximum-Material-Bedingung (MMR) an einem dünnen Flachstecker a) Festlegung der Hülle, b) Toleranzdiagramm

Korrekte Eintragung von $\textcircled{M}$ an der Geometrietoleranz

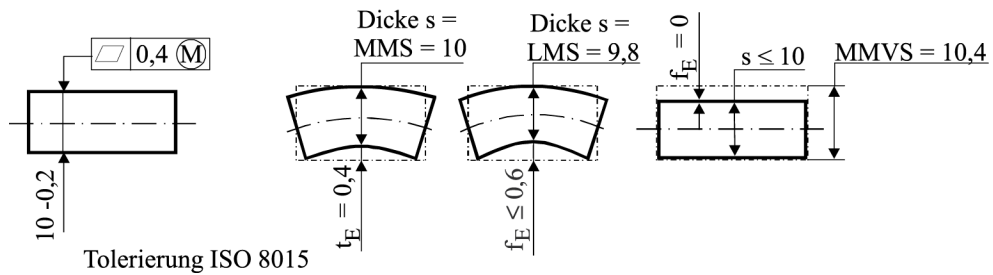
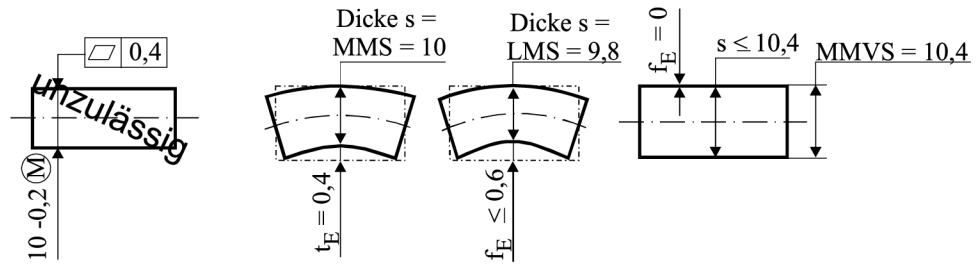


Abb. 10.15: Tolerierung einer Ebenheitstoleranz nach der Maximum-Material-Bedingung und deren praktische Auswirkung

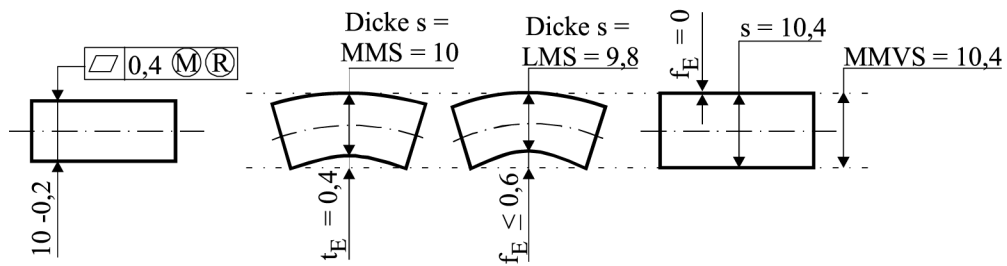
Nicht genormte Eintragung von $\textcircled{M}$ an die Maßtoleranz



Tolerierung ISO 8015

Abb. 10.16: Nicht zulässige Eintragung von $\textcircled{M}$ an die Maßtoleranz

Schaffung eines Toleranzpools



Tolerierung ISO 8015

Abb. 10.17: Reziprozitätsbedingung und deren Interpretation als Toleranzpool

		Formtoleranzen		Lagetoleranzen					
									
tol. Ele- ment	Mittellinie	x		x	x	x	x	x	x
	Mittelebene		x	x	x	x	x		x
Be- züge	Mittellinie			x	x	x	x	x	
	Mittelebene			x	x	x	x		x

Abb. 10.18: Anwendung der Maximum-Material-Bedingung nur auf abgeleitete Geometrieelemente

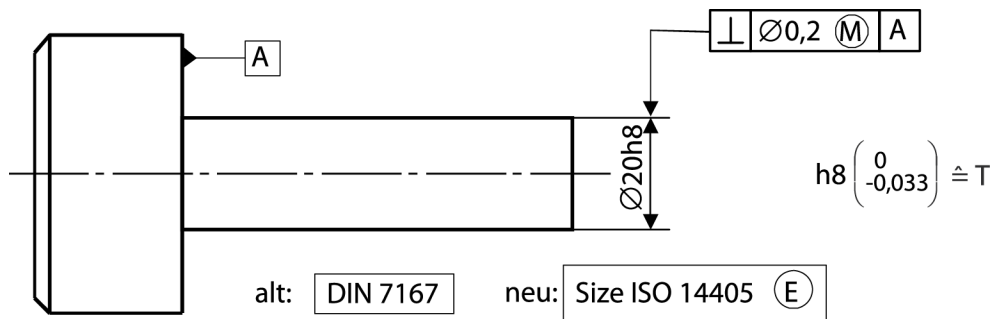


Abb. 10.19: Rechtwinkligkeitstoleranz mit MMB bei aufgehobener „Hüllbedingung“

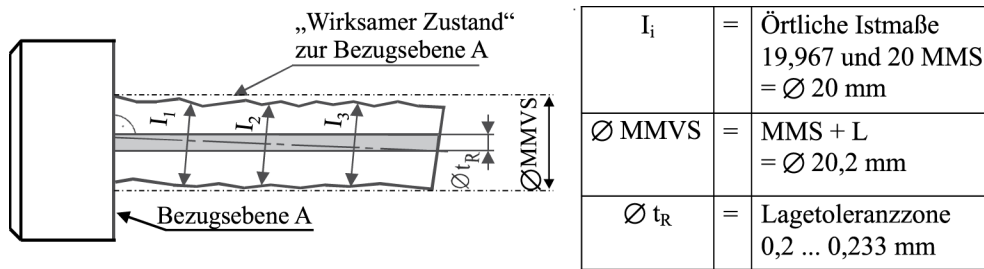
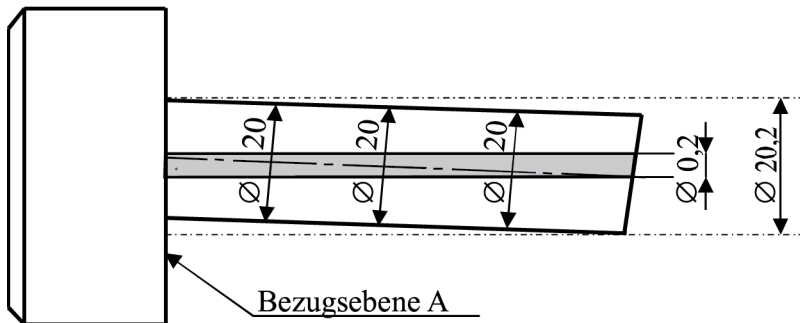


Abb. 10.20: Begrenzung der Rechtwinkligkeitstoleranz durch den „wirksamen Zustand“

a) minimale Rechtwinkligkeitsabweichungen des Zapfens



b) maximale Rechtwinkligkeitsabweichungen des Zapfens

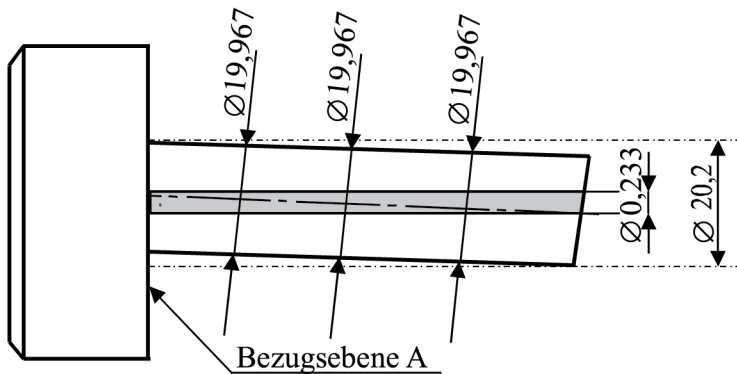
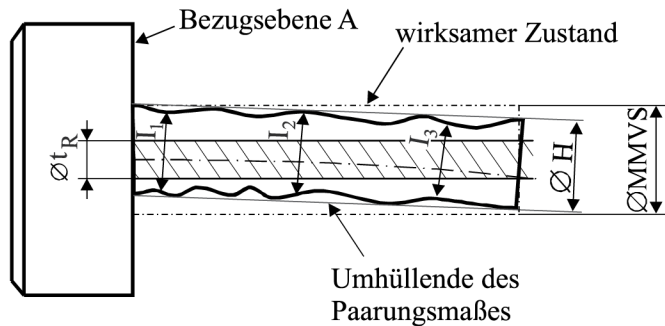
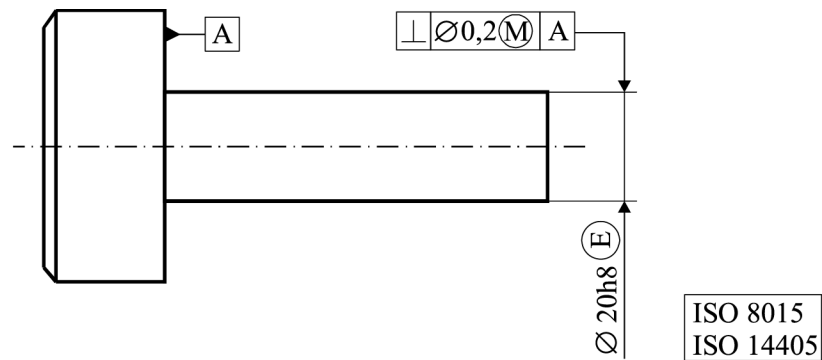


Abb. 10.21: Interpretation der Maß- und Lageabweichung in den Grenzzuständen



- I_1 bis I_3 = örtliche Istmaße = 19,967 (LLS) ... 20 mm (ULS)
 $\varnothing H$ bzw. MMS = Hülle bzw. Maximum-Material-Maß = $\varnothing 20$ mm
 $\varnothing MMS$ = wirksames Maß $\varnothing 20,2$ mm (Hülle für Rechtwinkligkeit)
 $\varnothing t_R$ = Richtungstoleranzzone = 0,2 ... 0,233 mm

Abb. 10.22: Festlegung einer Hülle für den Zylinder durch die Hüllbedingung (E)

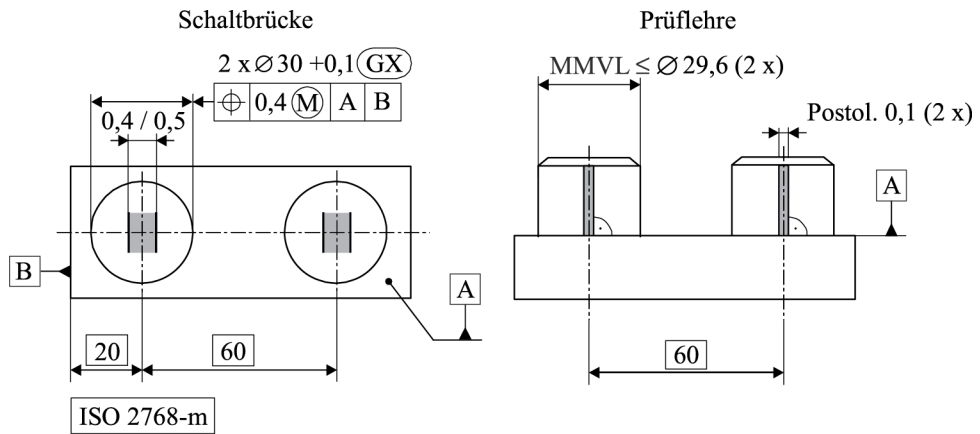


Abb. 10.23: Positionstoleriertes Lochbild und Prüfung mit starrer Lehre

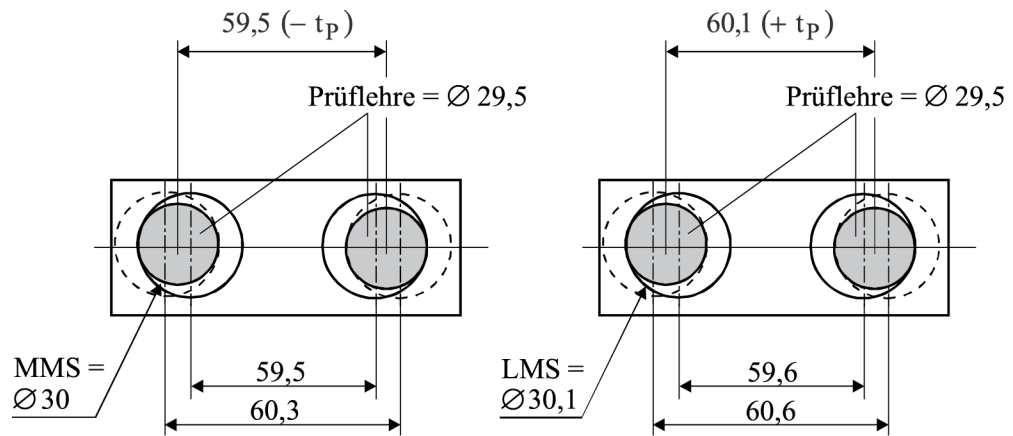


Abb. 10.24: Grenzgestaltprüfung für Bauteil und Lehre

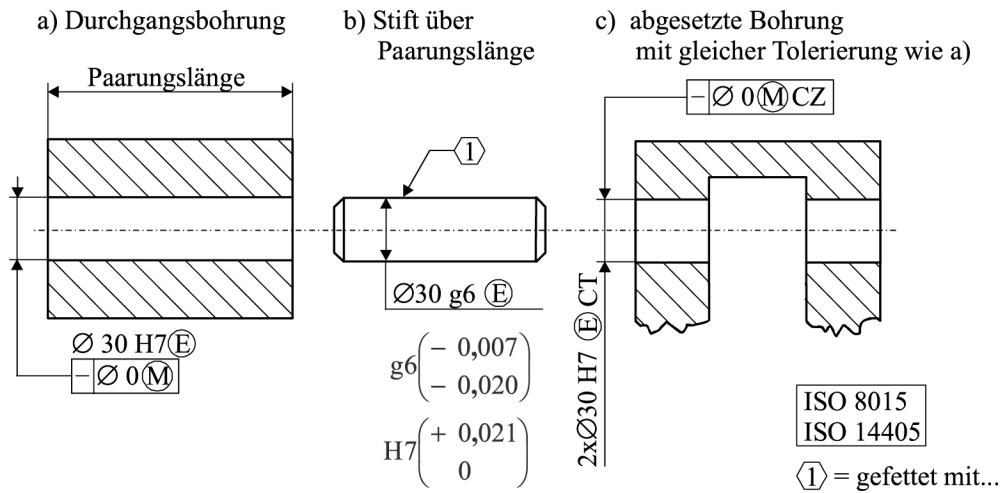


Abb. 10.25: Anwendung des Toleranzwertes „0“ in Verbindung mit $\textcircled{M}$

- a) Durchgangsbohrung unterliegt der Hüllbedingung $\textcircled{E}$
- b) Prüfdorn für Fall a) und c) mit Symbol „Allgemeine Kennung“ nach DIN 30-10
- c) abgesetzte Bohrung (mit unterbrochener Hülle), aber vereinbarter gemeinsamer Toleranzzone (CZ)

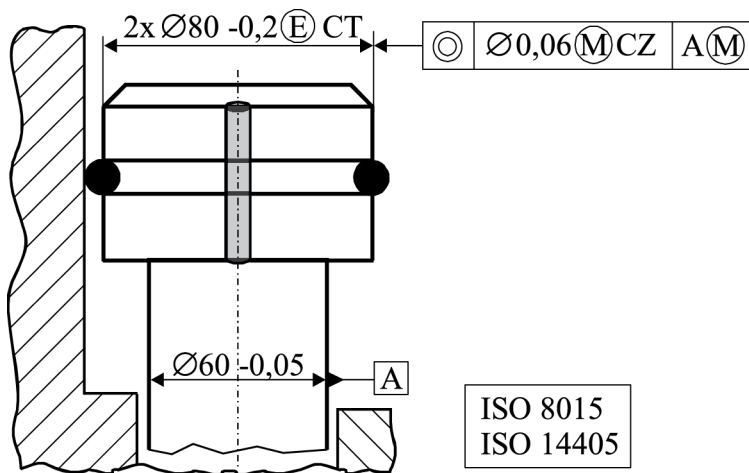
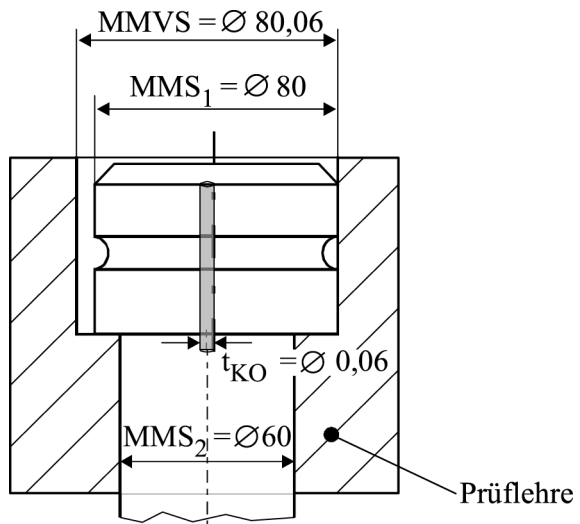
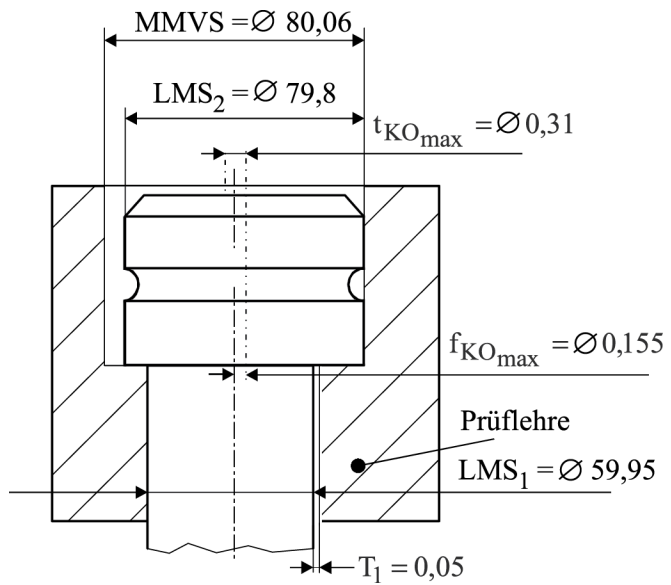


Abb. 10.26: Kolben mit MMB-Bezug (CT = gemeinsame Toleranz, CZ = gemeinsame Tol.-Zone)



Abb, 10.27: Konstruktion der Prüflehre für Bezug mit MMR



Abb, 10.28: Stempel und Kopf mit Minimum-Material-Grenze LMS

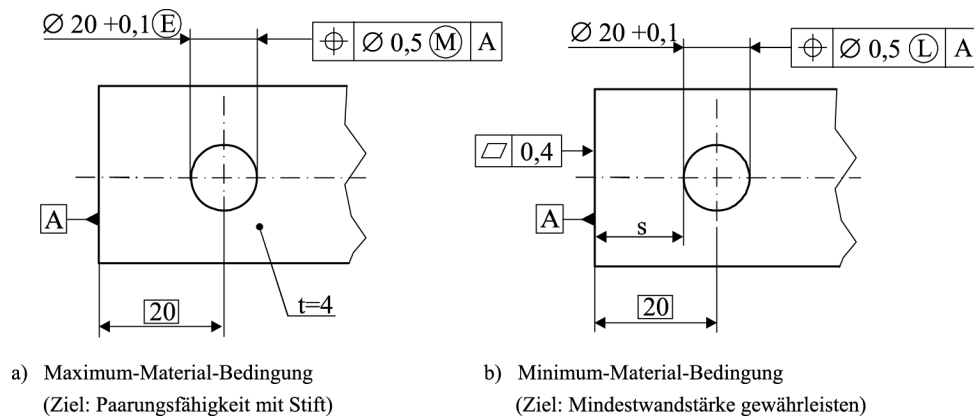


Abb. 10.29: Tolerierung nach der MMR und LMR an einem Stanzteil

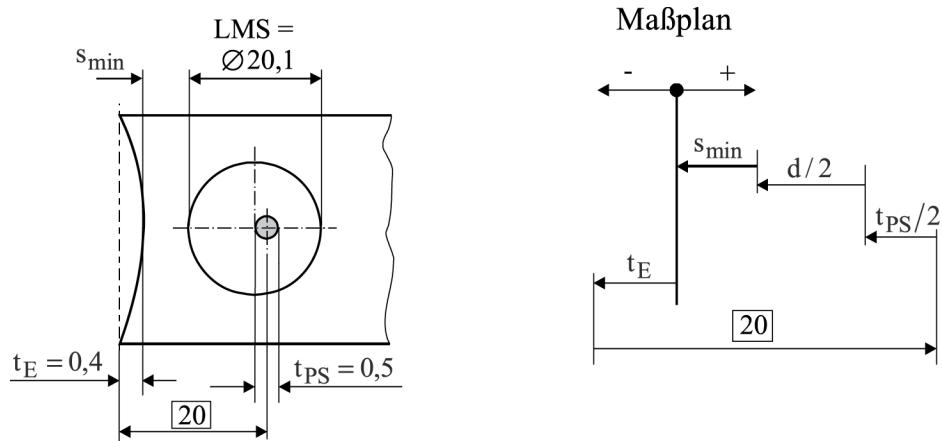


Abb. 10.30: Situation zur Berechnung der Mindestwandstärke $s_{\min}$



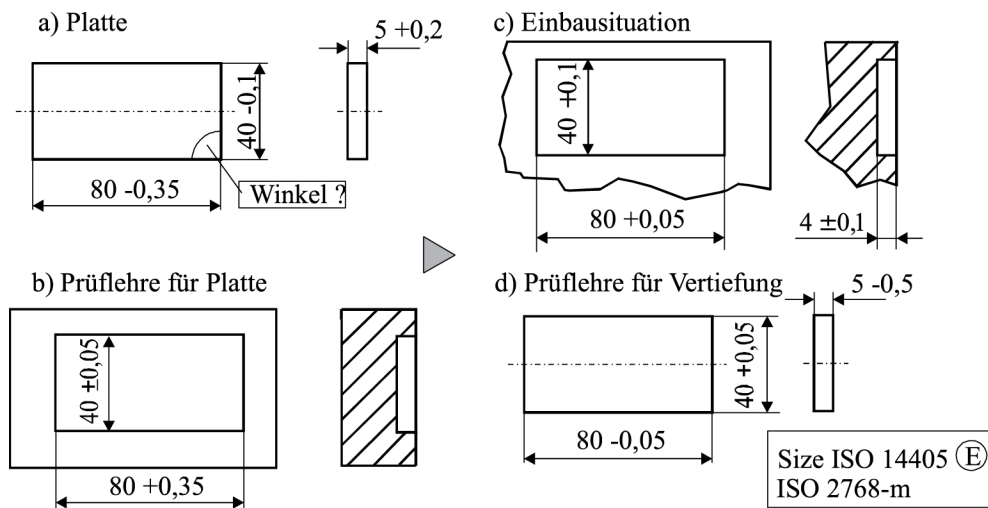


Abb. 10.32: Zu grobe Tolerierung für die Funktion und zur Prüfung mit einer Prüflehre

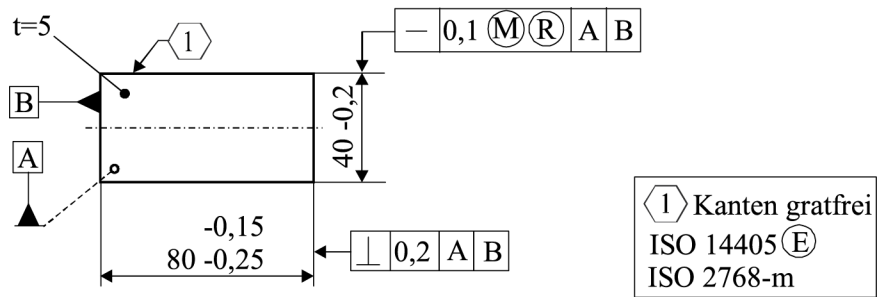
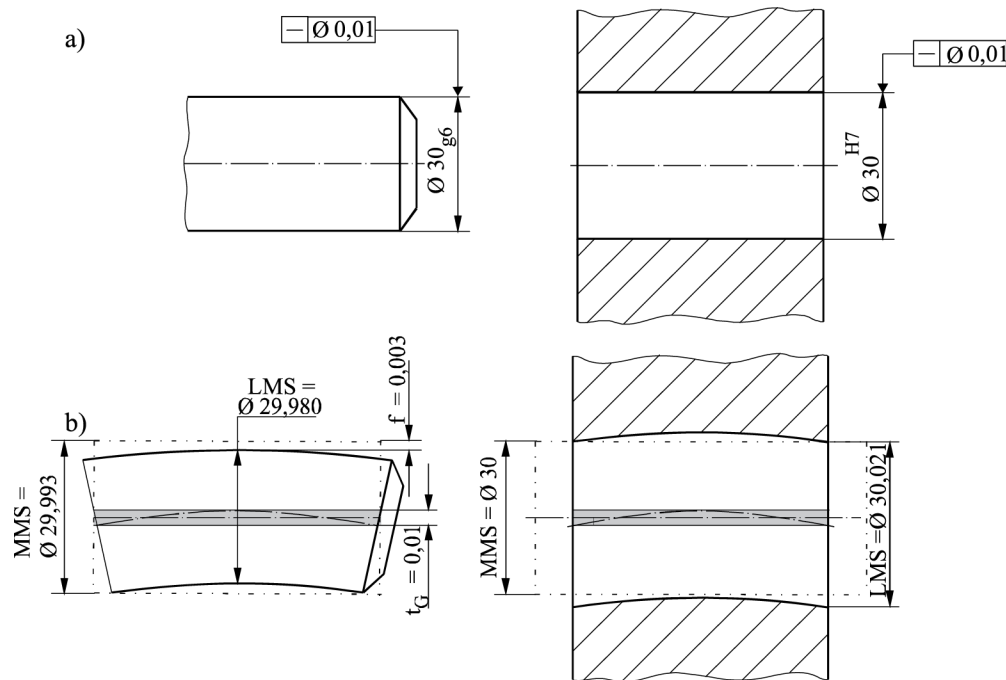


Abb. 10.33: Toleranzangabe nach der Reziprozitätsbedingung



Anmerkung zur Hülle:

- Eine Welle liegt stets innerhalb der Hülle.
- und
- Eine Bohrung liegt stets außerhalb der Hülle.

g6	-0.007 -0.020
H7	+0.021 0

Size ISO 14405 (E)
ISO 2768-m

Abb. 10.34: Herstellung einer funktionierenden Spielpassung bei Welle/Bohrung a) Zeichnungsangabe b) Hüllen vom Maximum-Material-Maß (MMS) nach DIN 7167-Prinzip

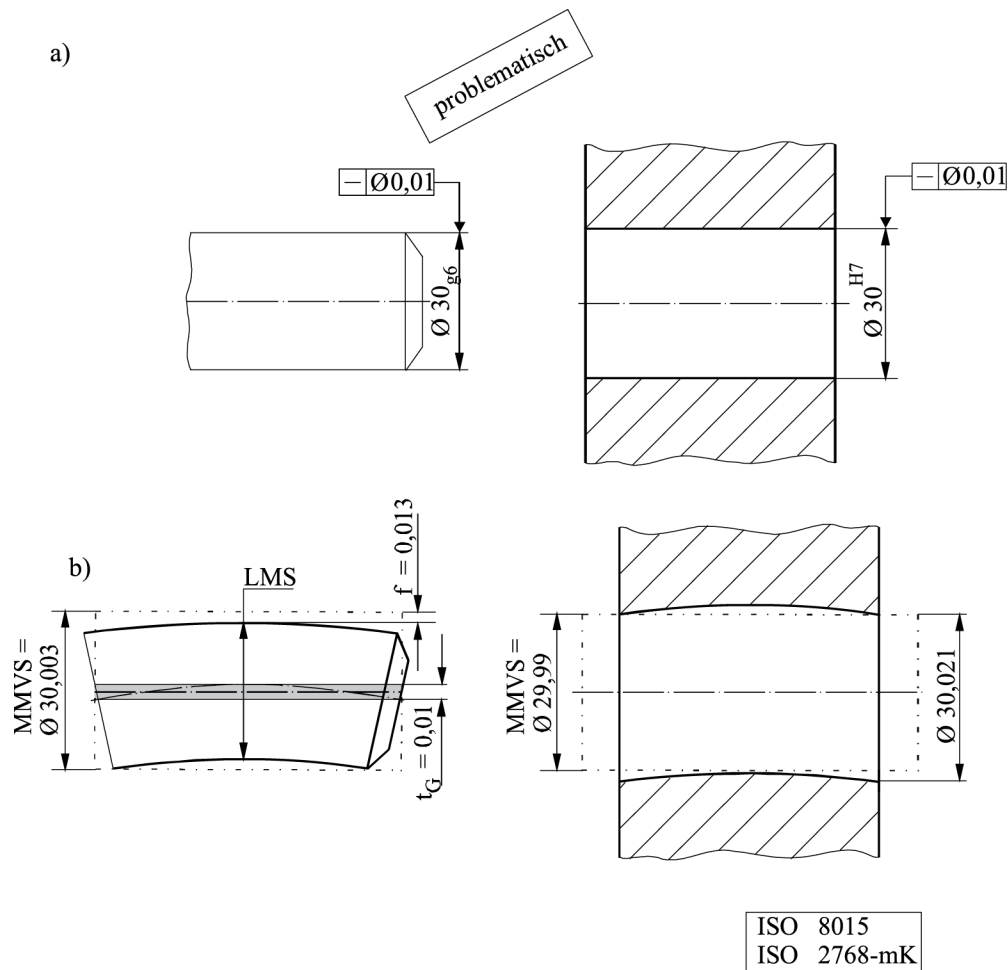


Abb. 10.35: Herstellung einer Spielpassung bei Welle/Bohrung a) Zeichnungsangabe b) Hüllen von MMVS bei ISO 8015

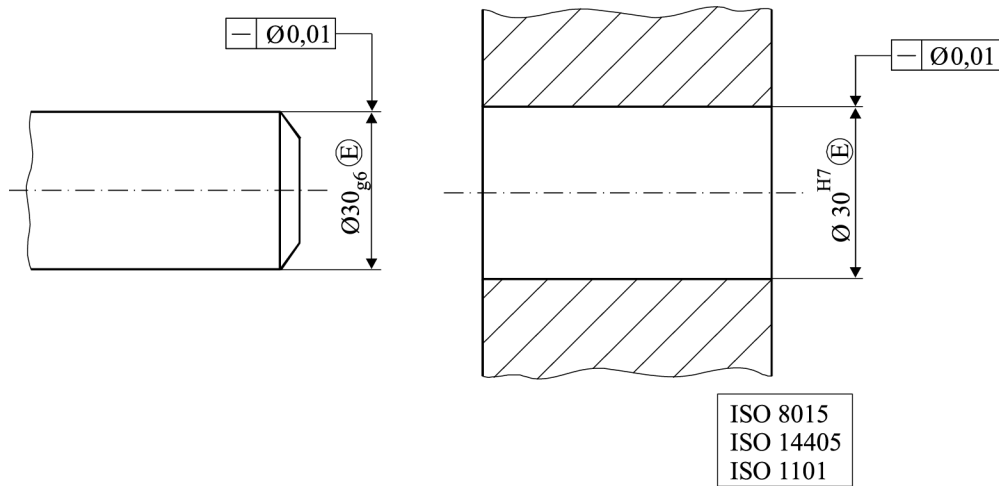


Abb. 10.36: Herstellung einer Spielpassung mit definierter geometrischer Hülle

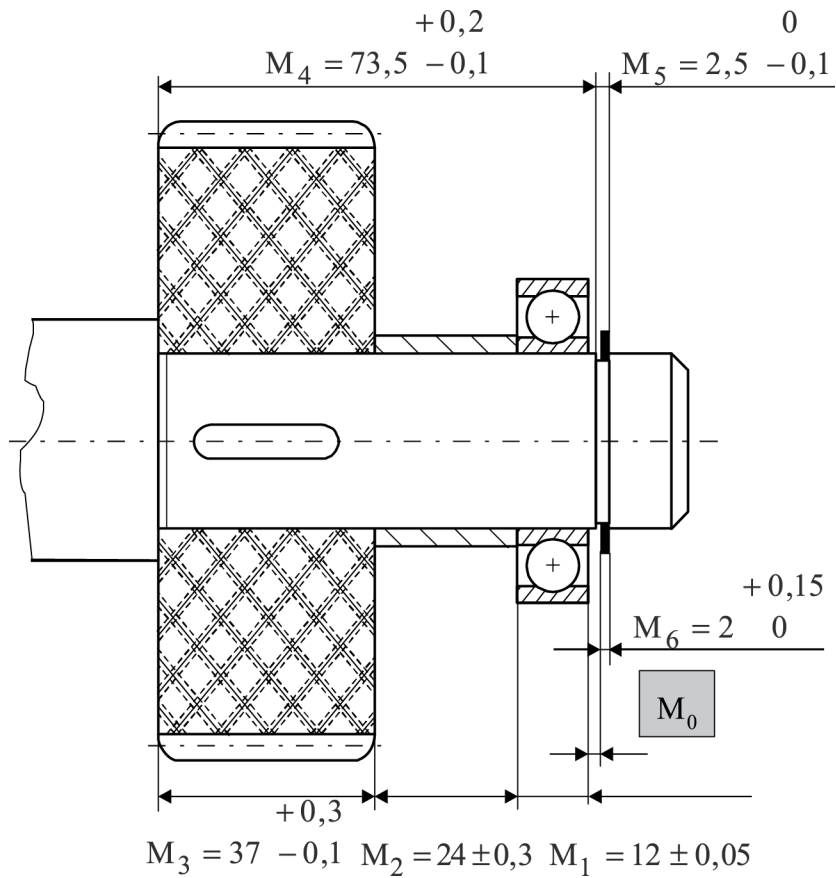


Abb. 11.1: Beispiel zur arithmetischen Berechnung von Maßketten

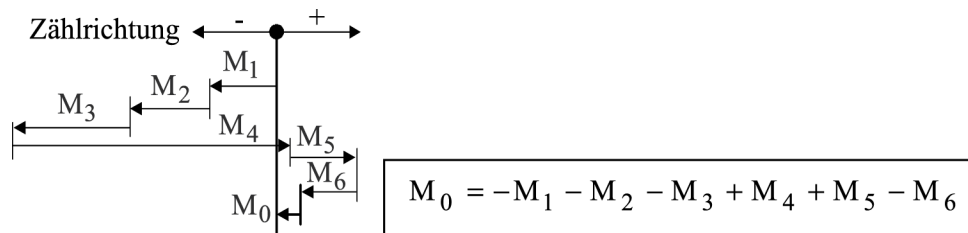


Abb. 11.2: Maßplan der Zahnrad-Einbausituation

Maßrichtung	Bezeichnung	Nennmaß N_i /[mm]	Größtmaß G_{oi} /[mm]	Kleinstmaß G_{ui} /[mm]	Toleranz T_i /[mm]
– M_1	Lagerbreite	12,0	12,05	11,95	0,10
– M_2	Hülsenbreite	24,0	24,30	23,70	0,60
– M_3	Zahnradbreite	37,0	37,30	36,90	0,40
+ M_4	Wellenabsatz	73,5	73,70	73,40	0,30
+ M_5	Nutbreite	2,5	2,50	2,40	0,10
– M_6	Sicherungsring	2,0	2,15	2,00	0,15

Tabelle 11.1: Maße für arithmetische Toleranzberechnung



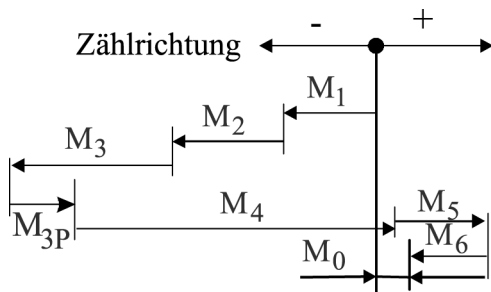


Abb. 11.4: Maßplan für Maßkette mit einer Lagetoleranz

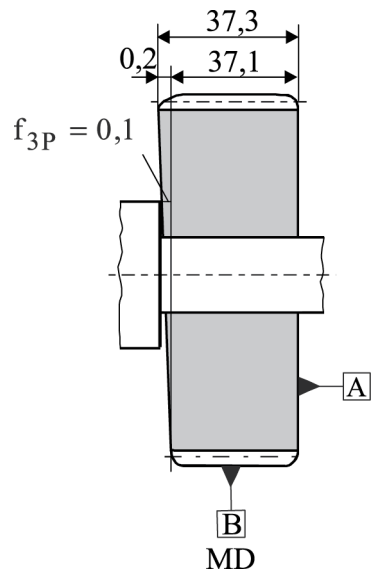
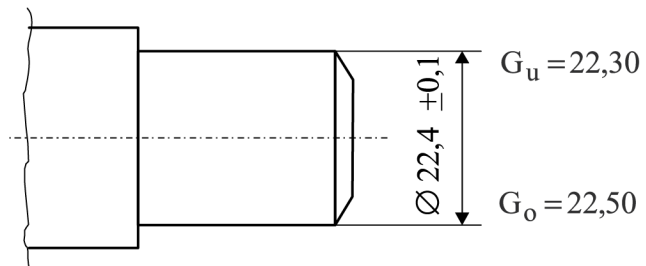


Abb. 11.5: Auswirkung der Formabweichung nach ISO 8015

Richtung	Bezeichnung	Nennmaß N_N [mm]	Größtmaß G_o [mm]	Kleinstmaß G_u [mm]	Toleranz T [mm]
– M_1	Lagerbreite	12,0	12,05	11,95	0,10
– M_2	Hülsenbreite	24,0	24,30	23,70	0,60
– M_3	Zahnradbreite	37,0	37,30	36,90	0,40
+ M_{3p}	Parallelitätstoleranz	0	0,2	0	0,2
+ M_4	Wellenabsatz	73,5	73,70	73,40	0,30
+ M_5	Nutbreite	2,5	2,50	2,40	0,10
– M_6	Sicherungsring	2,0	2,15	2,00	0,15

Tabelle 11.2: Maße der Getriebeeinbau-Situation

Wellenzapfen mit Außendurchmesser $22,4 \pm 0,1$ mm



Messwerte (von 50 Wellen)

(Angabe sind nur die Nachkommastellen)

Nr.	Wert	Nr.	Wert	Nr.	Wert	Nr.	Wert	Nr.	Wert	Nr.	Wert	Nr.	Wert
1	48	9	40	17	32	25	46	33	52	41	37	49	38
2	37	10	35	18	40	26	41	34	41	42	43	50	43
3	38	11	43	19	39	27	38	35	44	43	45		
4	45	12	42	20	41	28	43	36	45	44	41		
5	43	13	51	21	40	29	35	37	42	45	39		
6	41	14	40	22	38	30	42	38	36	46	42		
7	42	15	39	23	41	31	39	39	38	47	44		
8	36	16	43	24	43	32	41	40	40	48	40		

Ergebnis:

angenommen: 48 verworfen: 2 (grau unterlegt)

Strichliste:

	Klassen		Anzahl	%
1	$22,30 \leq d < 22,32$		0	0
2	$22,32 \leq d < 22,34$	/	1	2
3	$22,34 \leq d < 22,36$	//	2	4
4	$22,36 \leq d < 22,38$	////	4	8
5	$22,38 \leq d < 22,40$	////////	9	18
6	$22,40 \leq d < 22,42$	////////////////	14	28
7	$22,42 \leq d < 22,44$	///////////	11	22
8	$22,44 \leq d < 22,46$	////	5	10
9	$22,46 \leq d < 22,48$	//	2	4
10	$22,48 \leq d < 22,50$		0	0

Mittelwert:
 $\mu = 22,41 \text{ mm}$

Standardabweichung
 $\sigma = 0,03 \text{ mm}$

2 Stück = 4 %
wurden verworfen.

Daraus ergibt sich die folgende Verteilung:

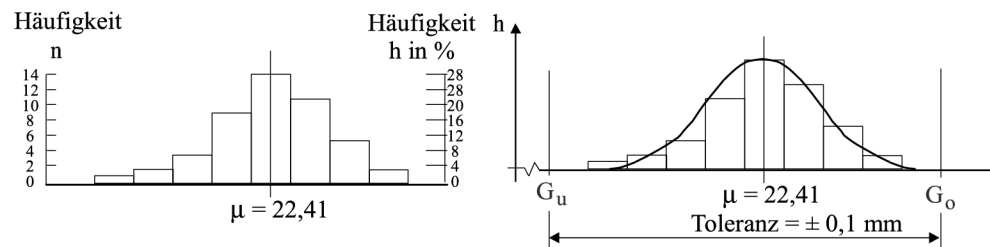
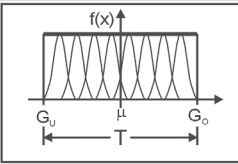
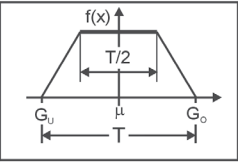
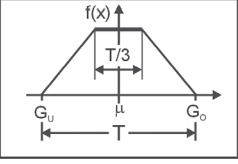
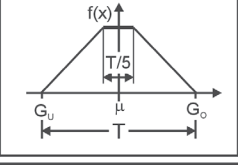
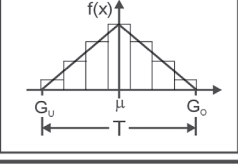
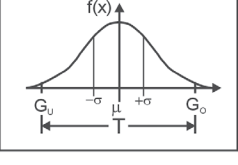


Abb. 11.6: Ermittlung der Häufigkeitsverteilung einer Stichprobe

Tabelle 11.3: Kenngrößenauswertung verschiedener Verteilungen

Art der Verteilung	Varianz σ^2 Toleranz T	Simulationsfall
Rechteck- verteilung 	$\sigma^2 = \frac{T^2}{12}$ $T = 2\sqrt{3} \cdot \sigma$ $= 3,4641 \cdot \sigma$	"Worst Case" oder Simulation eines wandernden Mittelwertes durch Werkzeugverschleiss
Trapez- verteilung ① 	$\sigma^2 = \frac{10 \cdot T^2}{192}$ $T = 2\sqrt{48/10} \cdot \sigma$ $= 4,3818 \cdot \sigma$	Ergebnisverteilung bei der Faltung oder Simulation eines abgeschwächten Werkzeugverschleißes
Trapez- verteilung ② 	$\sigma^2 = \frac{13 \cdot T^2}{300}$ $T = 2\sqrt{75/13} \cdot \sigma$ $= 4,8038 \cdot \sigma$	
Trapez- verteilung ③ 	$\sigma^2 = \frac{T^2}{24}$ $T = 2\sqrt{6} \cdot \sigma$ $= 4,8990 \cdot \sigma$	
Dreieck- verteilung 	$\sigma^2 = \frac{T^2}{24}$ $T = 2\sqrt{6} \cdot \sigma$ $= 4,8990 \cdot \sigma$	Simulation einer Kleinserie
Normal- verteilung 	$\sigma^2 = \frac{T^2}{36}$ $T = 2 \cdot 3 \cdot \sigma$ $= 6 \cdot \sigma$ ausserhalb der Toleranz liegen 0,27% der Teile	Simulation einer Großserie z.B. $\pm 3\sigma$ bei $C_{pk} = 1$

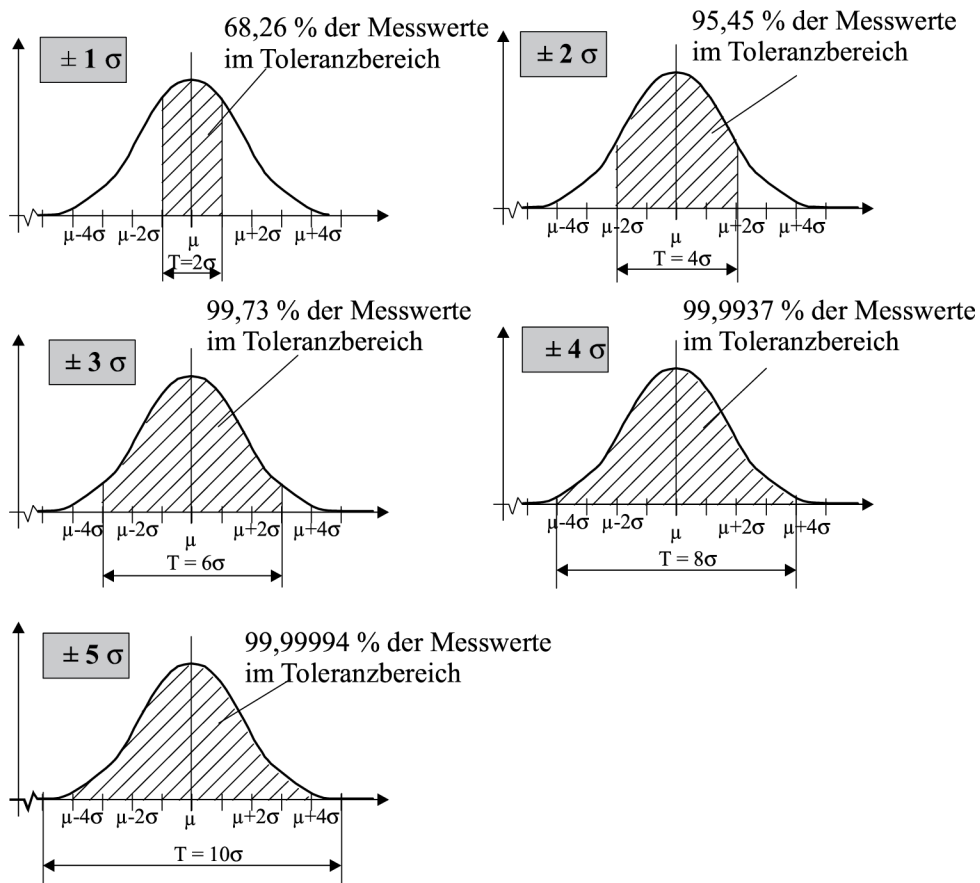


Abb. 11.7: Einschluss von Gutteilen unterhalb der Gauß'schen Verteilung

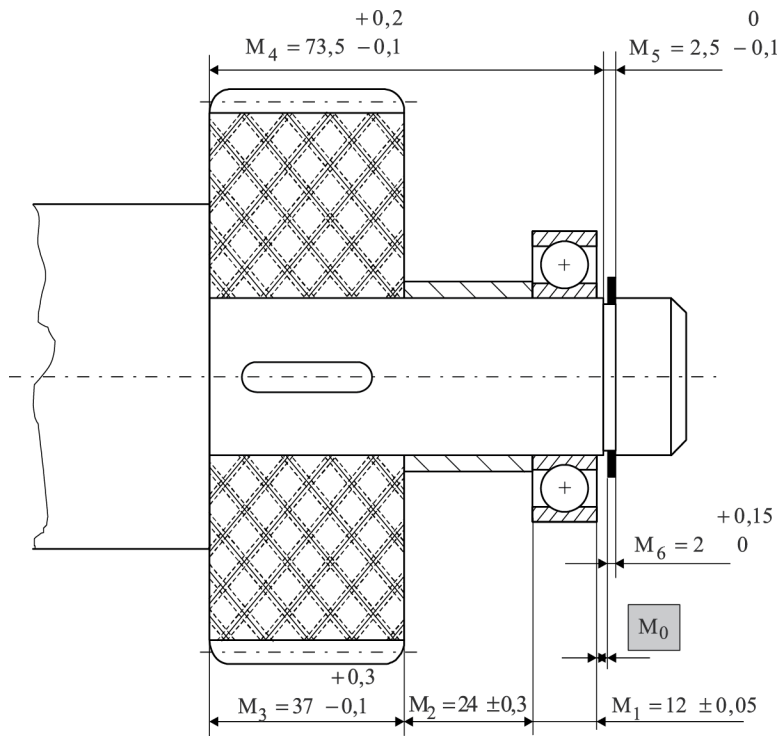


Abb. 11.8: Einbausituation in einem Getriebe

	Bezeichnung	Nennmaß N_i [mm]	Mittelwert μ_i [mm]	Toleranz T_i [mm]	Streuung σ_i [mm]
– M_1	Lagerbreite	12,0	12,00	0,1	0,0167
– M_2	Hülsenbreite	24,0	24,00	0,6	0,1000
– M_3	Zahnradbreite	37,0	37,10	0,4	0,0667
+ M_4	Wellenabsatz	73,5	73,55	0,3	0,050
+ M_5	Nutbreite	2,5	2,45	0,1	0,0167
– M_6	Sicherungsring	2,0	2,075	0,15	0,0250

Tabelle 11.4: Maßgrößen für die statistische Toleranzberechnung

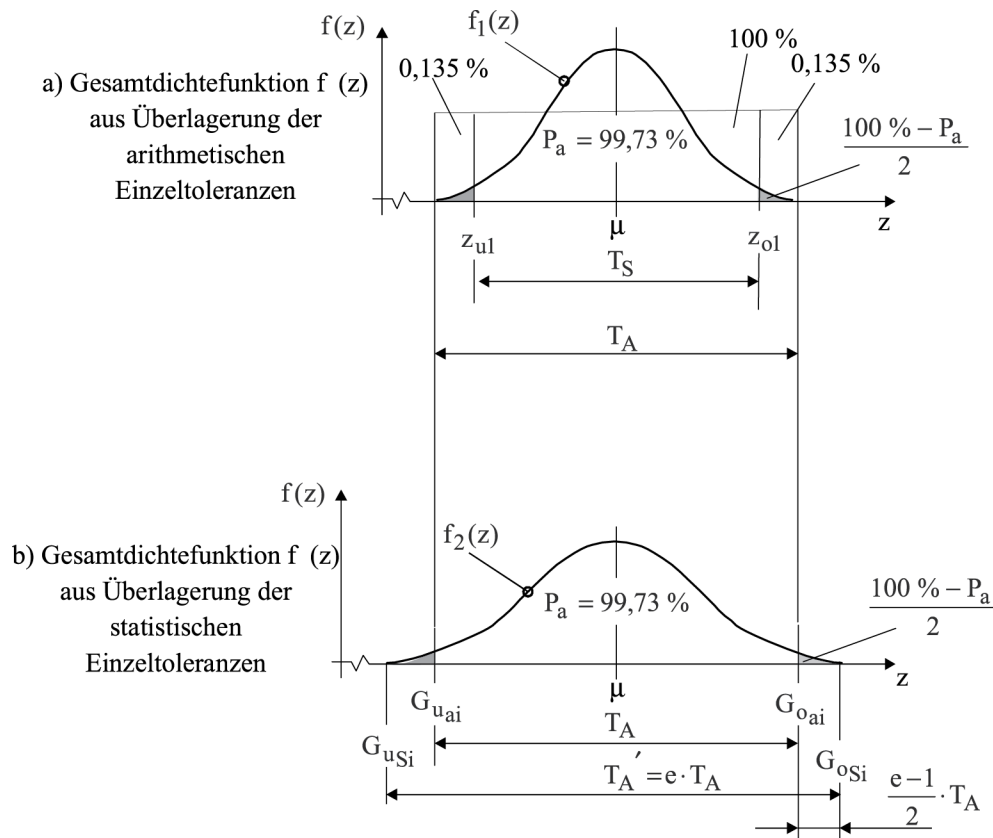


Abb. 11.9: Aufteilung der statistisch ermittelten Toleranzpotenziale

Maß-Nr:	Größtmaß $G_{oi}/[mm]$	Kleinstmaß $G_{ui}/[mm]$
1	12,05	11,95
2	24,30	23,70
3	37,30	36,90
4	73,70	73,40
5	2,50	2,40
6	2,15	2,00

Tabelle 11.5: Größt- und Kleinstmaße der ersten Auslegung

Statistisch:	Nennmaß	Größtmaß $G_{\text{os}}/[\text{mm}]$	Kleinstmaß $G_{\text{us}}/[\text{mm}]$	Toleranz $T_i/[\text{mm}]$
		<i>Lager: Normteil</i>		
1	12,0	12,05	11,95	0,1
2	24,0	24,61	23,39	1,22
3	37,0	37,50	36,69	0,81
4	73,5	73,85	73,25	0,6
5	2,5	2,55	2,35	0,2
		<i>Nutring: Normteil</i>		
6	2,4	2,4	2,35	0,05

Tabelle 11.6: Statistische Toleranzberechnung mit gerundeten Maßen

Beispiel:

Spezifikation $500,0 \pm 3$ mm

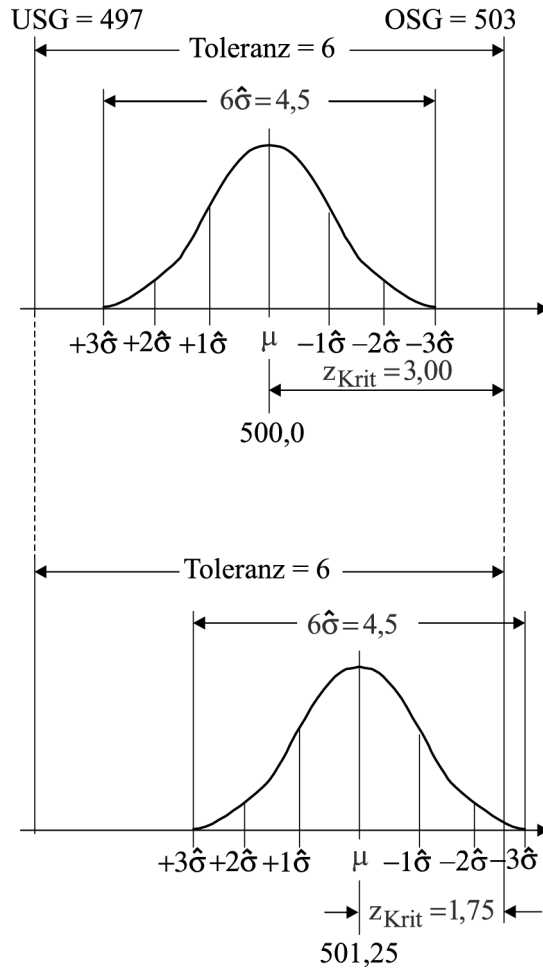
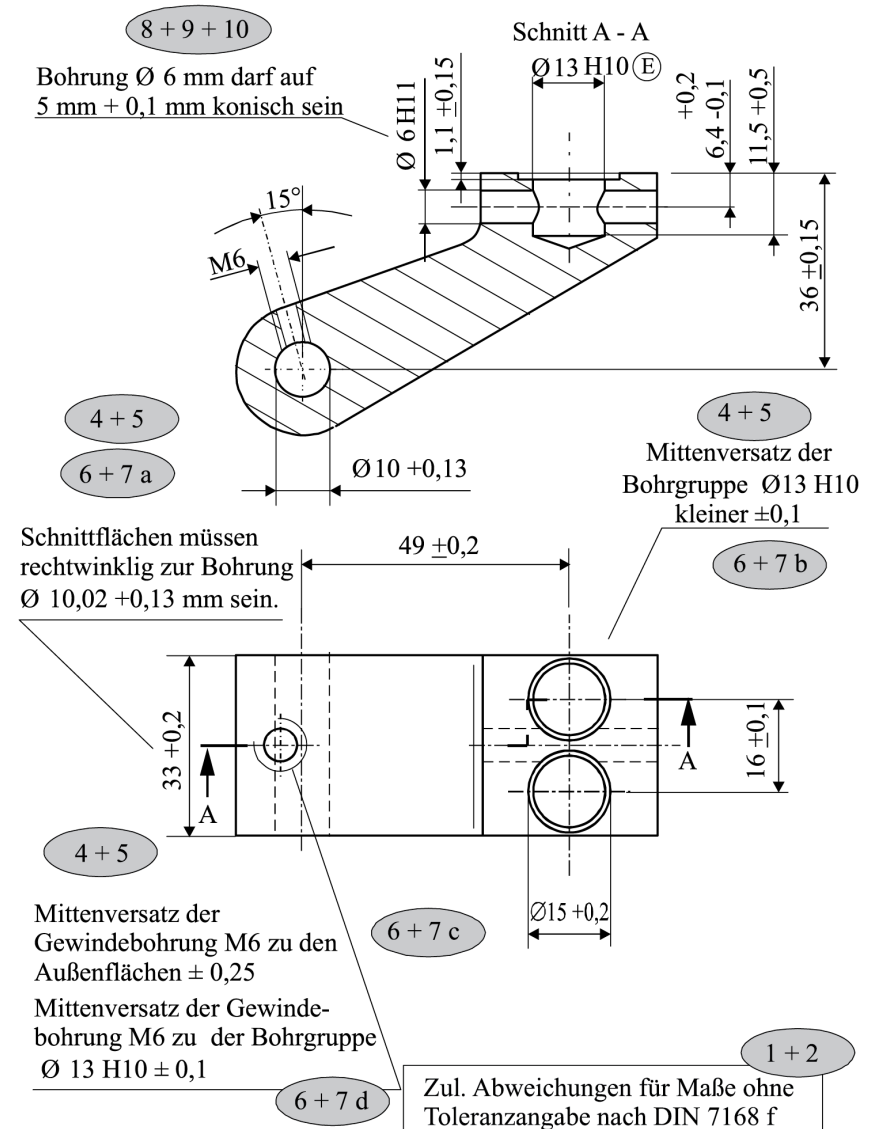


Abb. 11.10: Vergleich von f_p , C_p und C_{pk}

Abb. 12.1: Problempunkte einer gegebenen Fertigungszeichnung



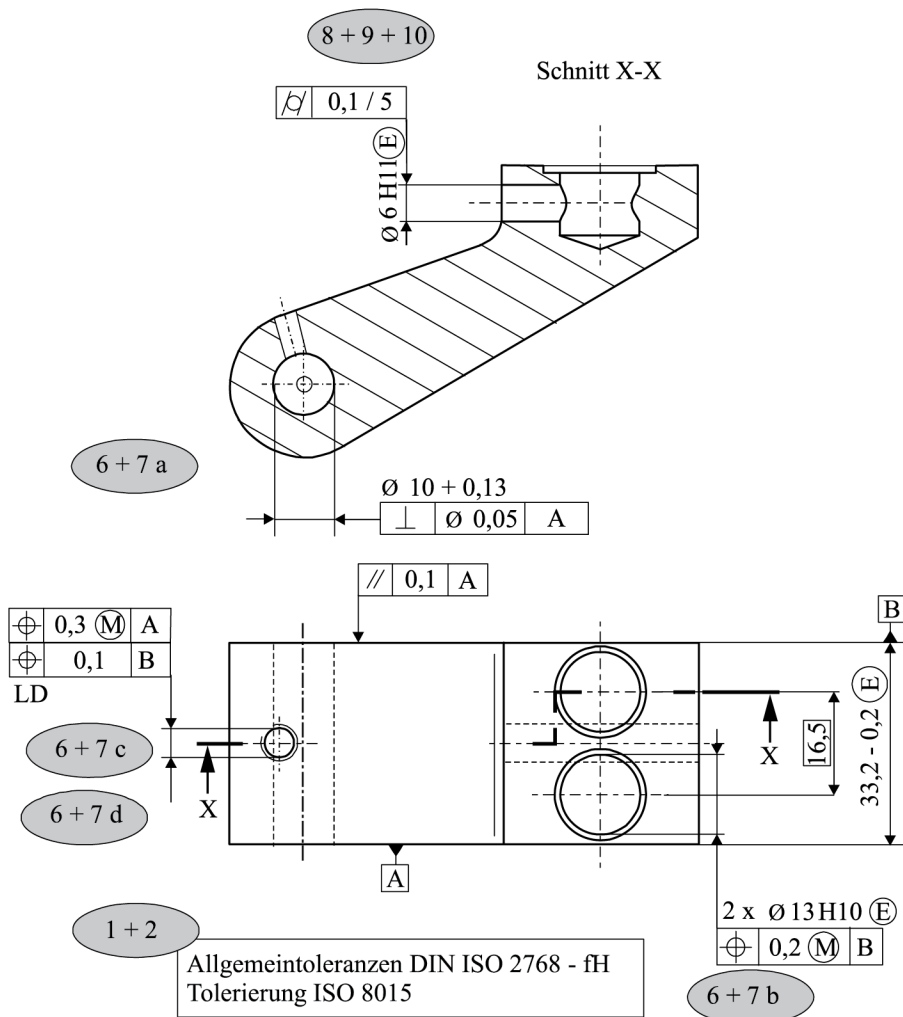


Abb. 12.2: Schritte zur normgerechten Tolerierung mit F+L-Toleranzen

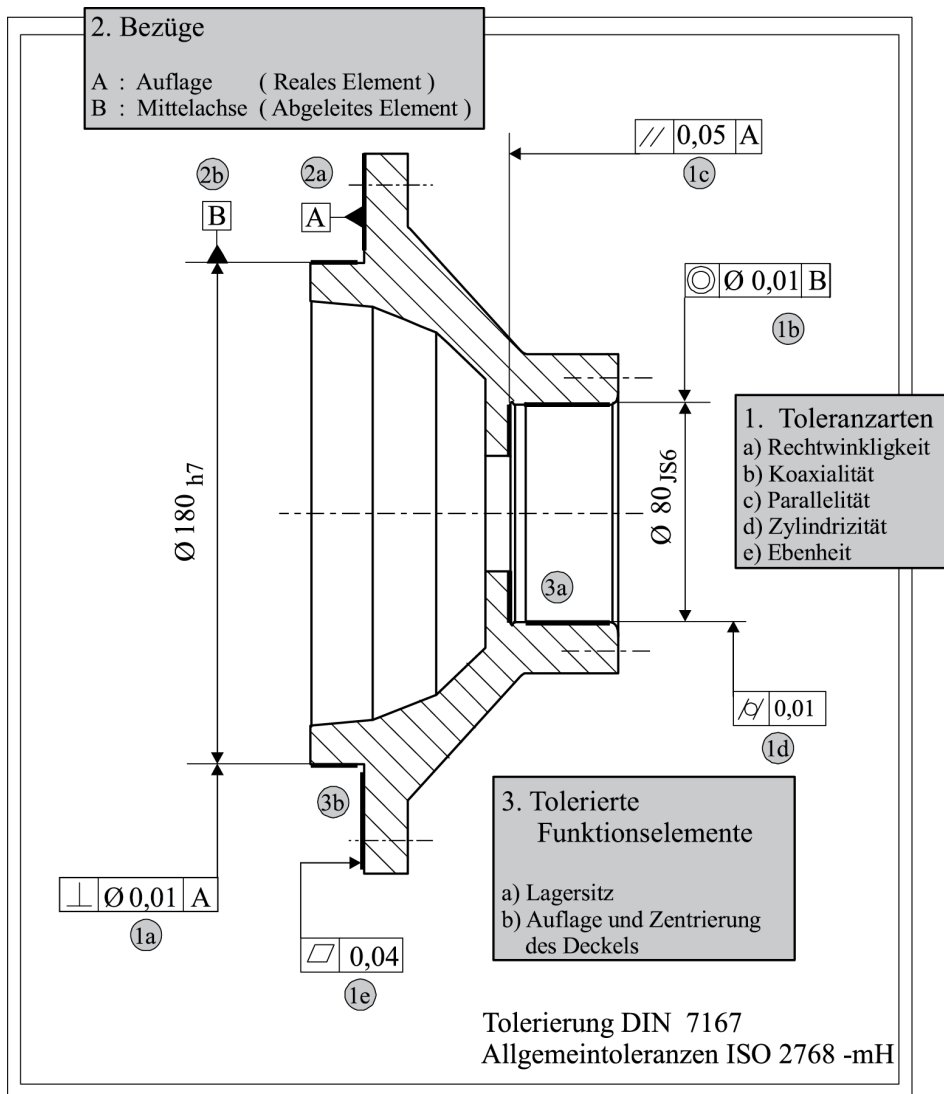


Abb. 12.3: Interpretation von eingetragenen Toleranzen am Beispiel einer Radnabe

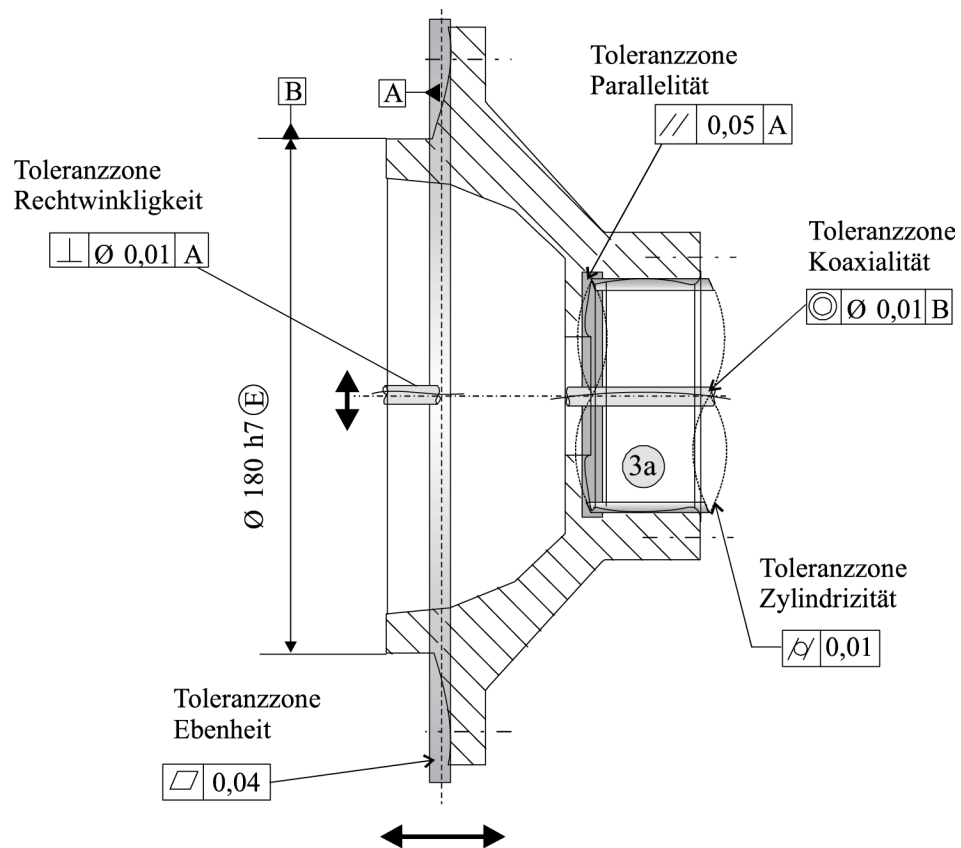


Abb. 12.4: Gehäusedeckel einer Lkw-Radnabe

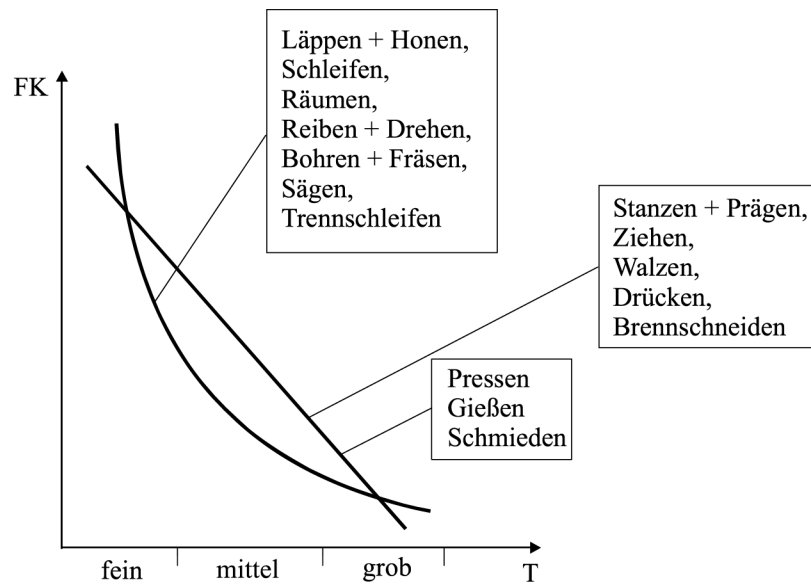


Abb. 12.5: Geglättete Toleranz-Kosten-Kurven

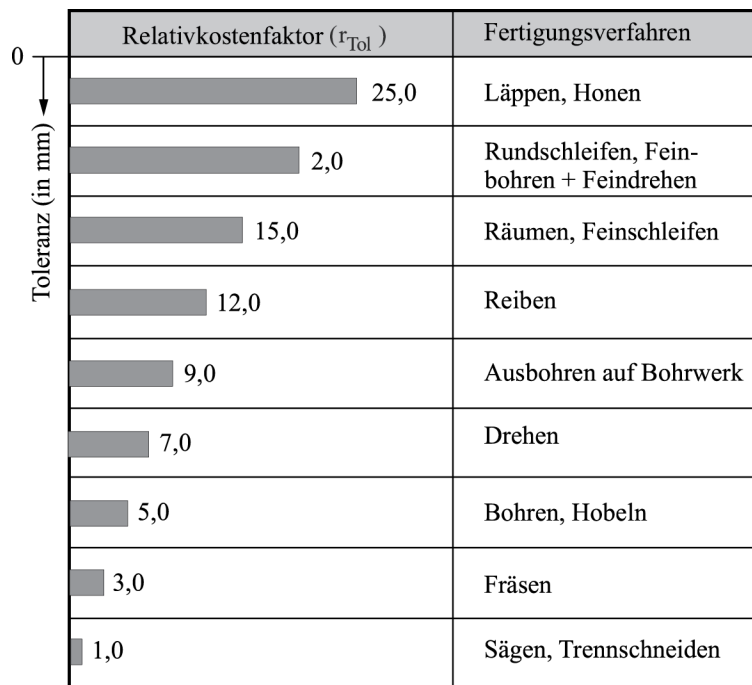


Tabelle 12.1: Toleranzabhängige Relativkosten einiger spanender Fertigungsverfahren in der Kleinserie (nach Universität Toledo/Ohio)

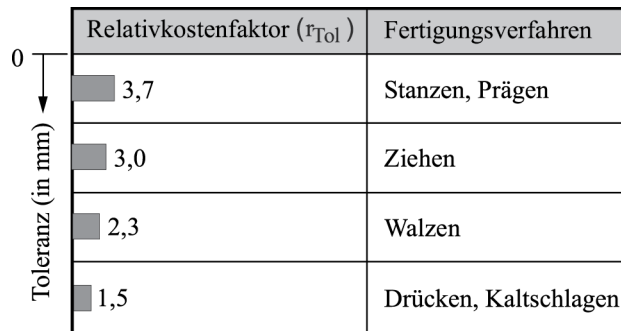


Tabelle 12.2: Toleranzabhängige Relativkosten einiger Umformverfahren in der Kleinserie (nach ABB)

IT	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T =	7 i	10 i	16 i	25 i	40 i	64 i	100 i	160 i	250 i	400 i

Tabelle 12.3: Bildung von Toleranzfeldern mit der Toleranzeinheit i nach DIN 7151

Fertigungsverfahren	Rauigkeit Ra (μm)	Relativkostenfaktor r_{Ob}
Guss, unbearbeitet	12,7	1
grobe Bearbeitung (z. B. Schruppen)	6,5	3
normale Bearbeitung (z. B. Schlichten)	3,2	5
feinere Bearbeitung (z. B. Feinschlichten)	1,7	11
Schleifen	1,0	18
Feinschleifen, Honen	0,5	30

Tabelle 12.4: Oberflächenabhängige Relativkosten (nach GE)

Toleranzabw. (mm)	Relativkosten r_{Tol}	Toleranzabw. (mm)	Relativkosten r_{Tol}
$\pm 0,025$	14,50	$\pm 0,279$	2,30
0,051	11,94	0,305	2,00
0,076	8,95	0,330	1,79
0,102	7,78	0,356	1,66
0,127	6,30	0,380	1,49
0,152	5,02	0,406	1,45
0,177	4,18	0,432	1,34
0,203	3,54	0,457	1,23
0,228	3,00	0,483	1,10
0,254	2,61	0,510	1,00

Tabelle 12.5: Toleranz-Kostentabelle für Drehteile ($100 < n < 1.000$ Stück)

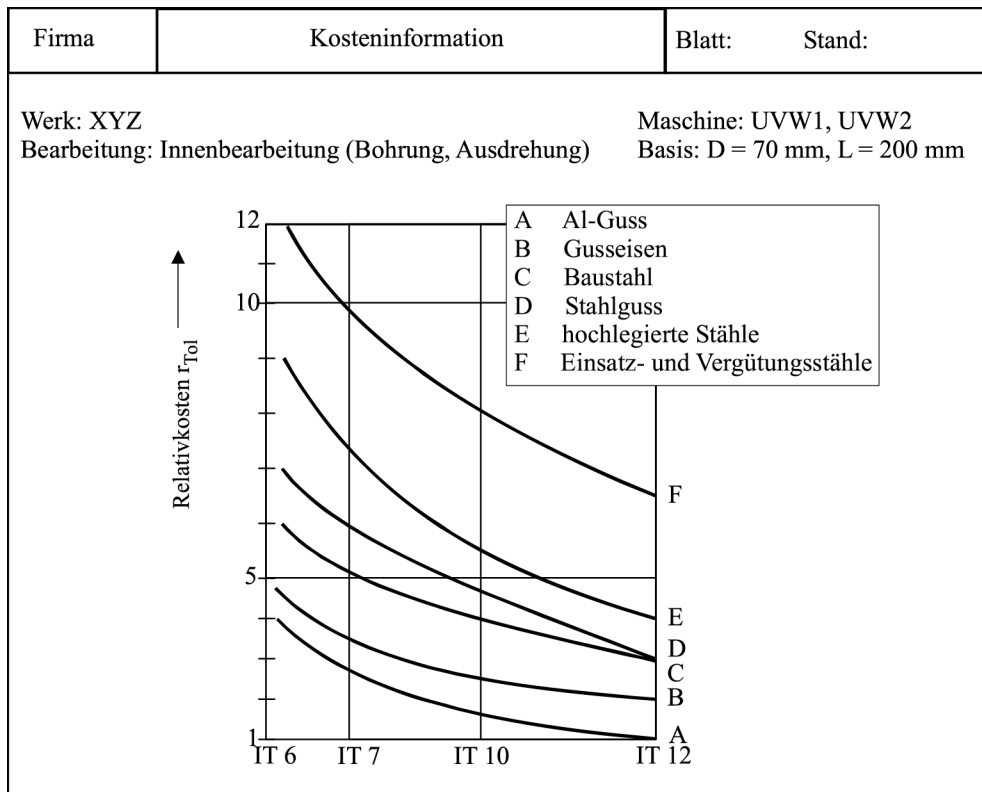


Abb. 12.6: Beispiel für die Gestaltung eines Relativkosten-Arbeitsblattes nach DIN 32991, T. 1

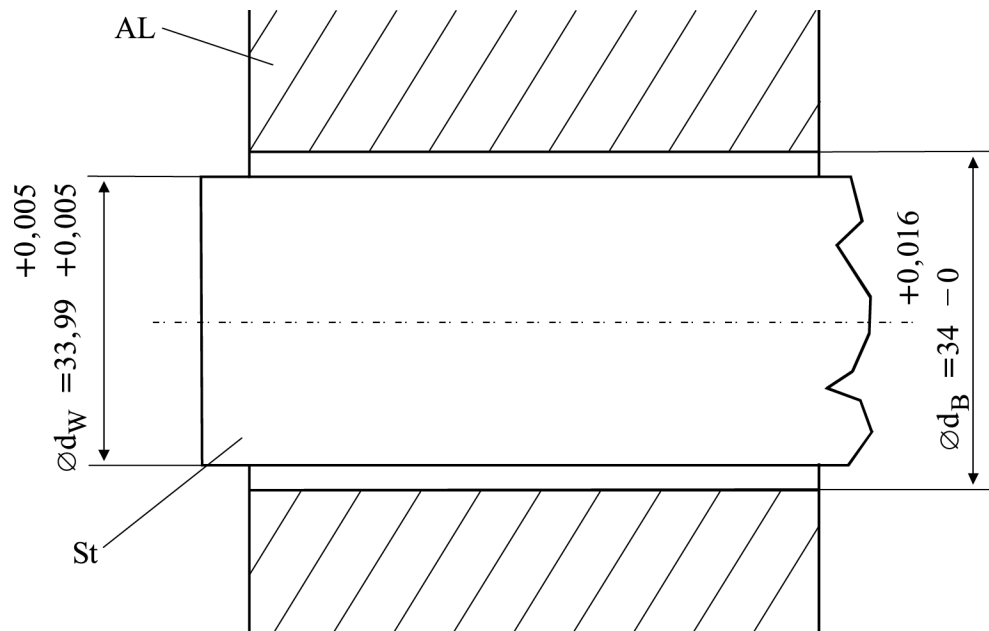


Abb. 13.1: Spielpassung bei einem Schwenkhebellager Al-Nabe mit Stahlwelle

	ϑ /[K]	d_{Bu} /[mm]	d_{Wo} /[mm]	M_o /[mm]
min.	258,15	33,876	33,980	– 0,104
Nenn.	293,15	34,000	33,995	0,005
max.	333,15	34,032	34,011	0,021

Tabelle 13.1: Abhängigkeit des Mindestspiels von der Temperatur

Grafische Darstellung des Durchmesserverlaufs in Abhängigkeit von der Temperatur

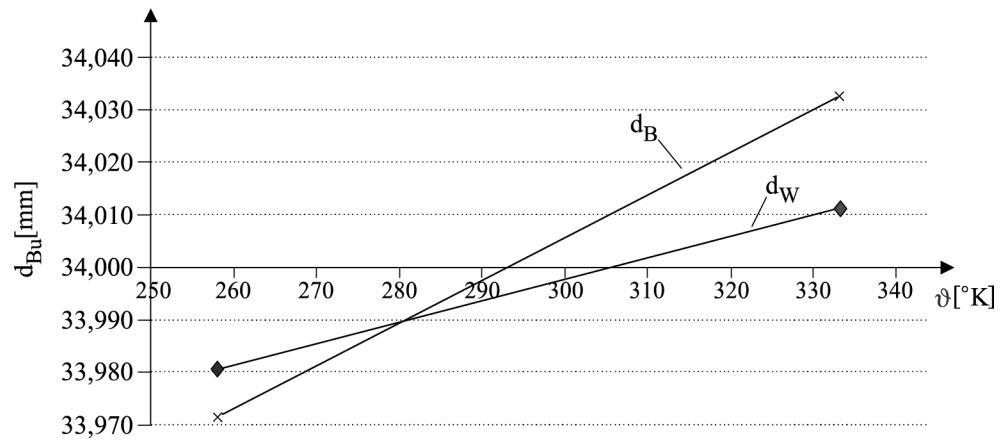


Abb. 13.2: Wellendurchmesser als Funktion der Temperatur

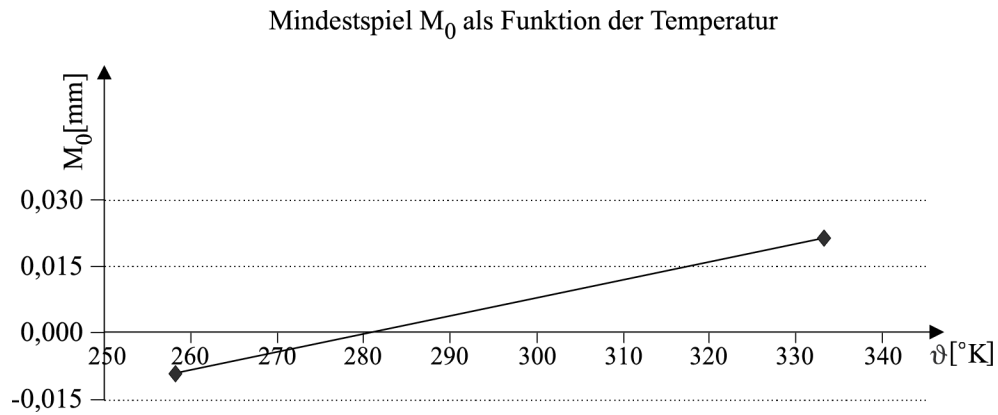


Abb. 13.3: Mindestspiel als Funktion der Temperatur

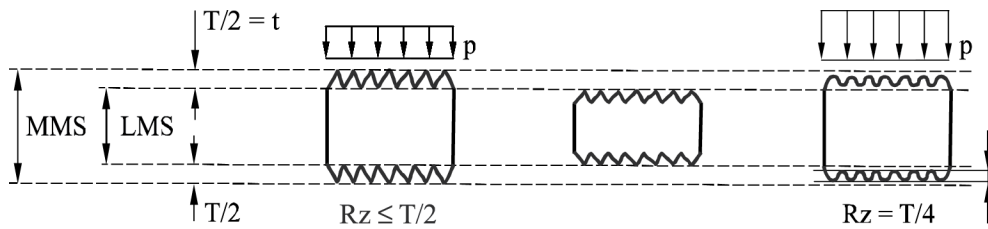


Abb. 14.1: Zusammenhang zwischen Maßtoleranz und größter Rautiefe (R_z) bei einer Passfläche

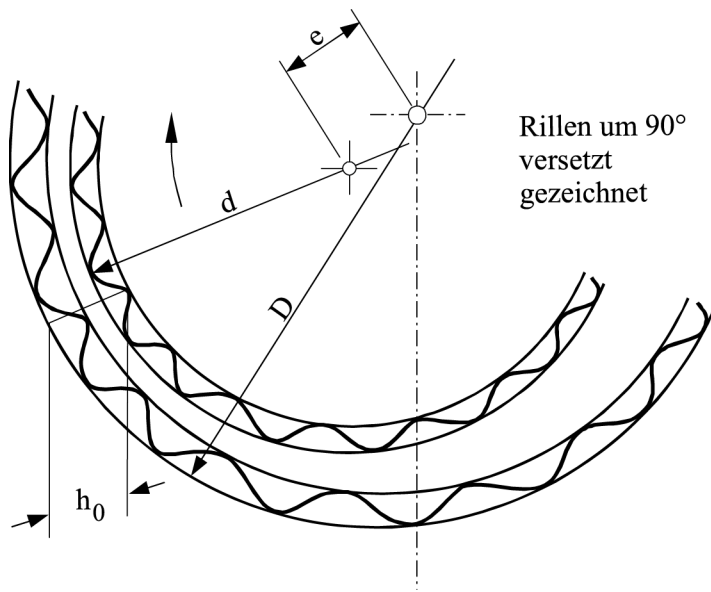
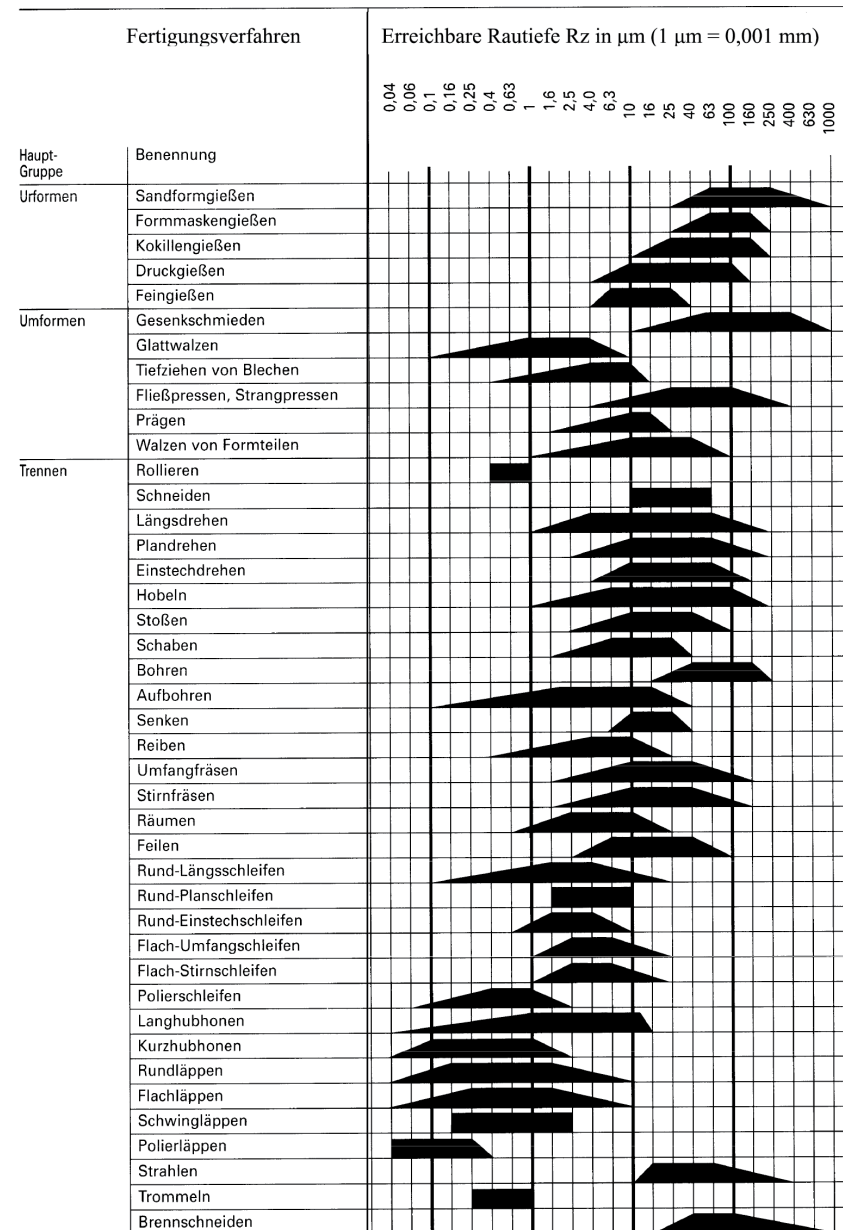


Abb. 14.2: Geometrie eines Lagerspaltes an der engsten Stelle bei rauen Oberflächen

technische Oberflächen	größte Rautiefe Rz bzw. Rt
• Schneidflächen	2–3 μm
• Press- und Übergangspressflächen	1,5–6 μm
• Schrumpfpasflächen	10–20 μm
• Stützflächen	6–30 μm
• Messflächen	0,4–2,5 μm
• Haftflächen für Endmaße aus St	0,03–0,06 μm
• Dichtflächen ohne Dichtung	1,0–13 μm
• Dichtflächen mit	
a) bewegter Dichtung	1–6 μm
b) ruhender Dichtung	6–25 μm
• Spielpasflächen	3–17 μm
• Bremsflächen	15–18 μm
• Rollflächen	0,1–2,5 μm
• Wälzflächen	1–60 μm
• Stoßflächen	0,4–3 μm
• Spannungsgrenzenflächen	1,5–32 μm

Abb. 14.3: Bereiche für Rautiefen Rz bzw. Rt von Oberflächen

Abb. 14.4: Erreichbare Rautiefen bei geläufigen Fertigungsverfahren



Formeigenschaften	Relationen	Anforderungen an die Paarung	
		hoch	mittel
Passung		H7/g6	H8/F7 oder e8
Rundheits-/Maßtoleranz	$\frac{t_k}{T}$	0,1 ... 0,2	0,25 ... 0,5
Zylindrizitäts-/Maßtoleranz	$\frac{t_z}{T}$	0,2 ... 0,4	0,5 ... 1
Rauheit/Maßtoleranz	$\frac{R_z}{T}$	0,02 ... 0,06	0,04 ... 0,12
Rauheit/Rundheitstoleranz	$\frac{R_z}{t_k}$	0,1 ... 0,25	
Rauheit/Zylindrizitätstoleranz	$\frac{R_z}{t_z}$	0,05 ... 0,13	

Abb. 14.5: Anhaltswerte und Relationen von Maß-, Form- und Oberflächentoleranzen für zylindrische Gleitflächen

	Bedeutung: Jedes Fertigungsverfahren ist zulässig
	Textangabe in Berichten oder Verträgen: APA (Any process allowed)
	Bedeutung: Materialabtrag gefordert
	Textangabe in Berichten oder Verträgen: MRR (Material removal required)
	Bedeutung: Materialabtrag unzulässig
	Textangabe in Berichten oder Verträgen: NMR (No material removed)

Abb. 14.6: „Vollständige“ grafische Symbole nach ISO 1302

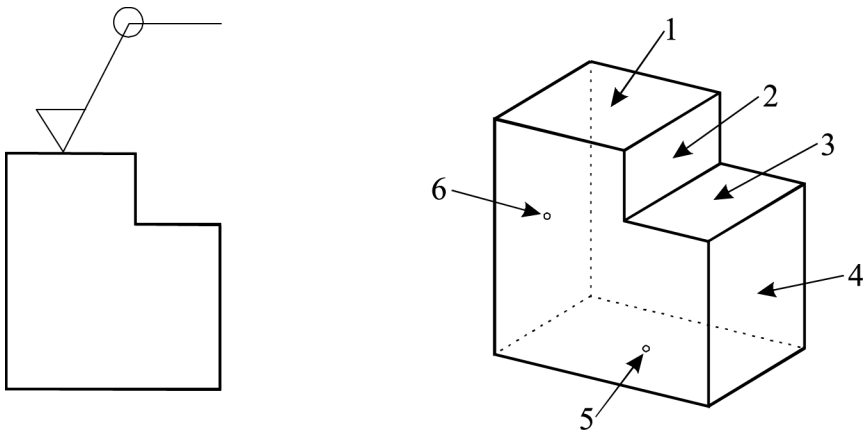


Abb. 14.7: Angabe einer Oberflächenanforderung auf die sechs Flächen eines Außenumrisses (vordere und hintere Fläche sind nicht erfasst) nach ISO 26178-1

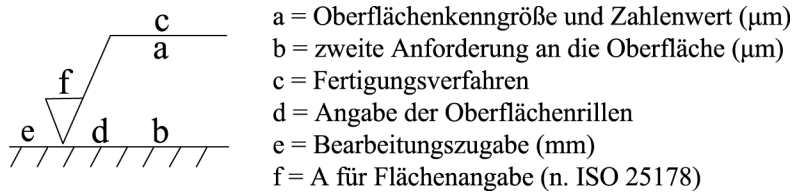


Abb. 14.8: Positionen für die Zusatzanforderungen

Anordnungsbeispiele	Textfolge
1. 0,0025 – 0,8/Rz 6,5	Übertragungscharakteristik-Einzelmessstrecke/Oberflächenkenngröße mit Zahlenwert
2. – 0,8/Rz 6,5	(fehlt) – Einzelmessstrecke/Oberflächenkenngröße mit Zahlenwert
3. 0,008 – 0,5/12/R 10	<i>Motivmethode:</i> Übertragungscharakteristik/Wert der Einzelmessstrecke (Wert 16 ist Standard)/ Oberflächenkenngröße mit Zahlenwert Motivmethode wird nur in der französischen Automobilindustrie verwendet

Abb. 14.9: Spezifizierte Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit

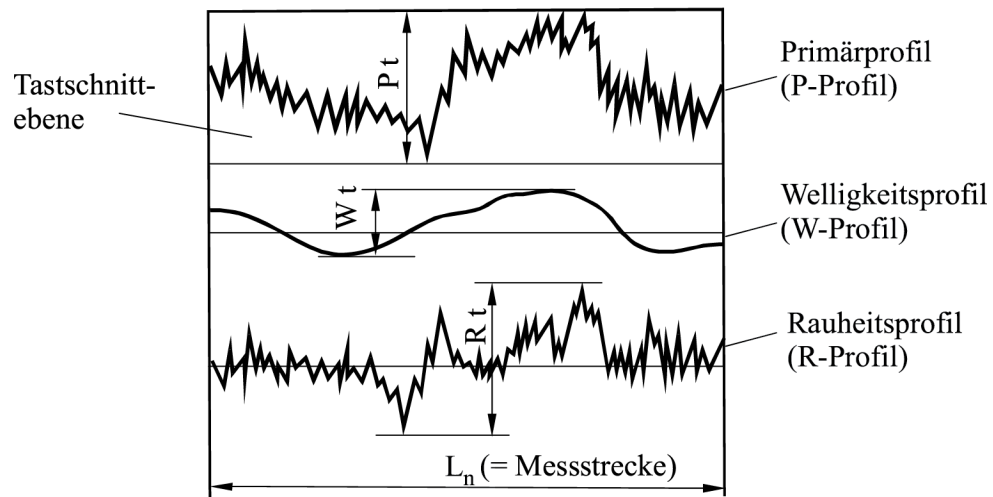


Abb. 14.10: Technische Oberfläche in einem Tastschnitt (senkrecht zur Oberfläche)

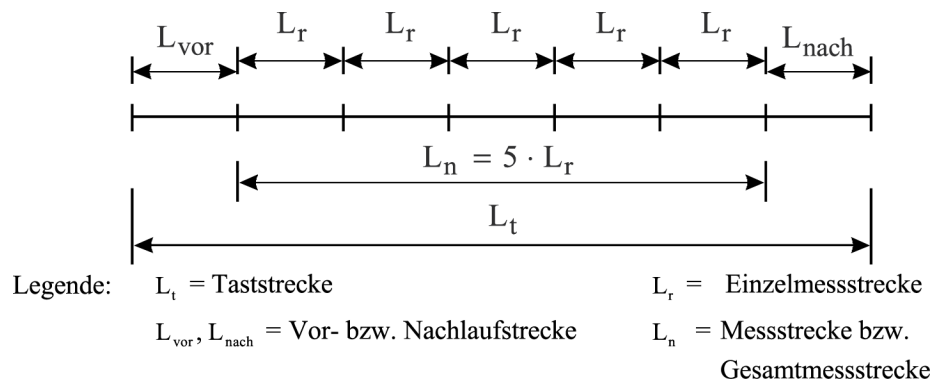


Abb. 14.11: Messtechnische Erfassung und Auswertung des Oberflächenprofils

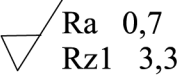
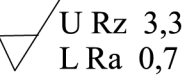
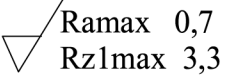
Textangabe	Zeichnungsangabe
MRR Ra 0,7; Rz1 3,3	 bzw. 
Angabe: „16%-Regel“/U = obere bzw. L = untere Grenze	
MRR Ra max 0,7; Rz1 max 3,3	
Angabe: „max“ nach „Höchstwert-Regel“	

Abb. 14.12: Verschlüsselung von Rauheitsanforderungen

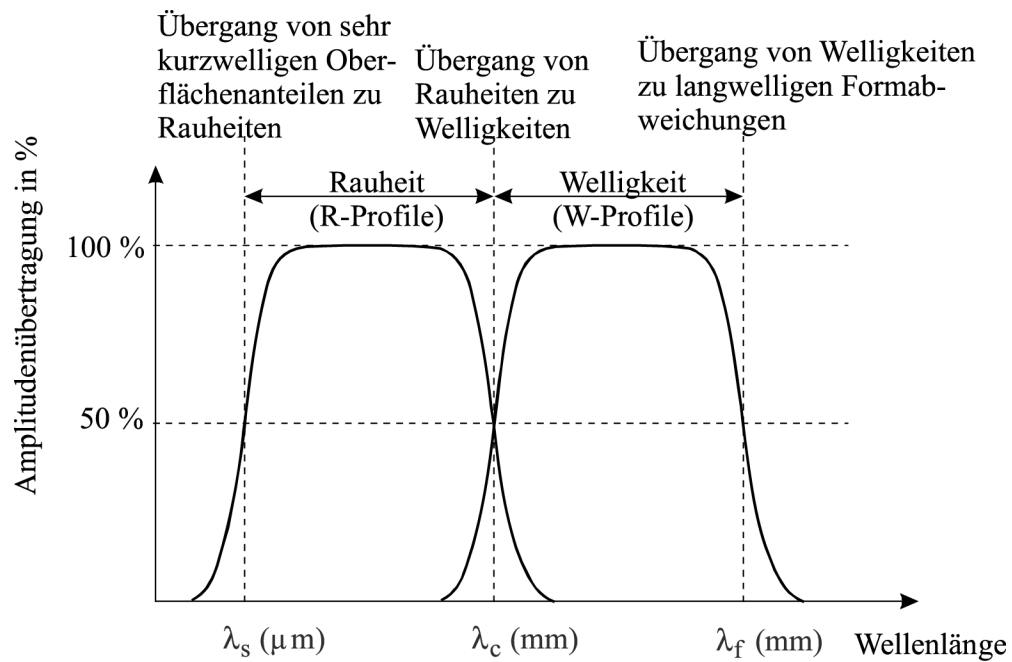


Abb. 14.13: Übertragungscharakteristika oder Bandbreiten für das Rauheits- und Welligkeitsprofil

λ_c (mm)	λ_s (μm)	Bandbreite $\lambda_c : \lambda_s$	maximaler Tastnadel- radius (μm)	minimaler Profilpunkt- abstand (μm)
0,08	2,5	30	2	0,5
0,25	2,5	100	2	0,5
0,80	2,5	300	2	0,5
2,5	8	300	5	1,5
8,0	25	300	10	5

Abb. 14.14: Für Rauheitsmessungen empfohlene Spezifikationen

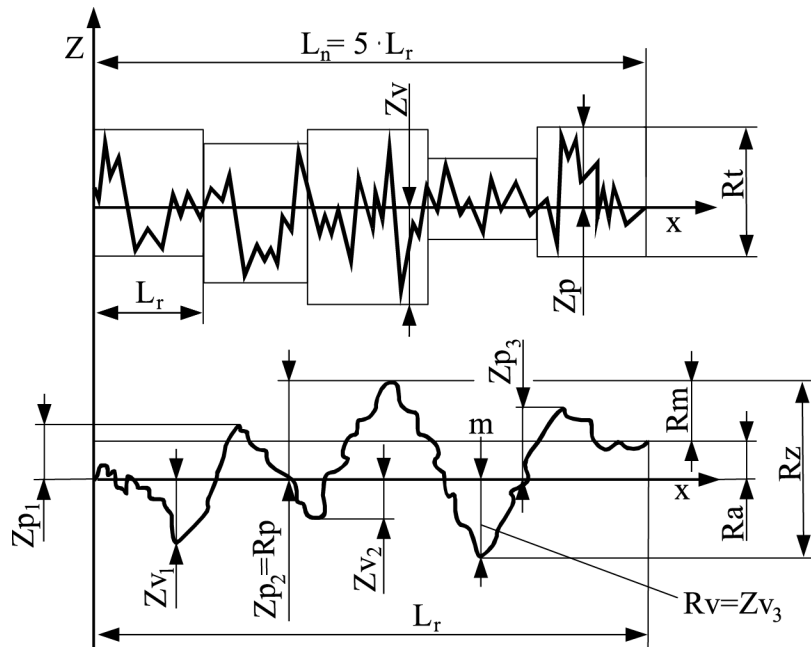


Abb. 14.15: Ermittlung von „Senkrecht-Kenngrößen“ an einem Rauheitsprofil

Grunddefinitionen	Benennung
Messstrecke	L_n
Einzelmessstrecke	L_p, L_r, L_w
Ordinatenwert	$Z(x)$
örtliche Profilsteigung	dZ/dx
Höhe der Profilspitze	Z_p
Tiefe des Profiltals	Z_v
Höhendifferenz des Profilelements	Z_t
Breite des Profilelements	X_s
Materiallänge des Profils auf der Schnitthöhe c	$ML(c)$

Abb. 14.16: Grunddefinitionen von geometrischen Profilkenngrößen

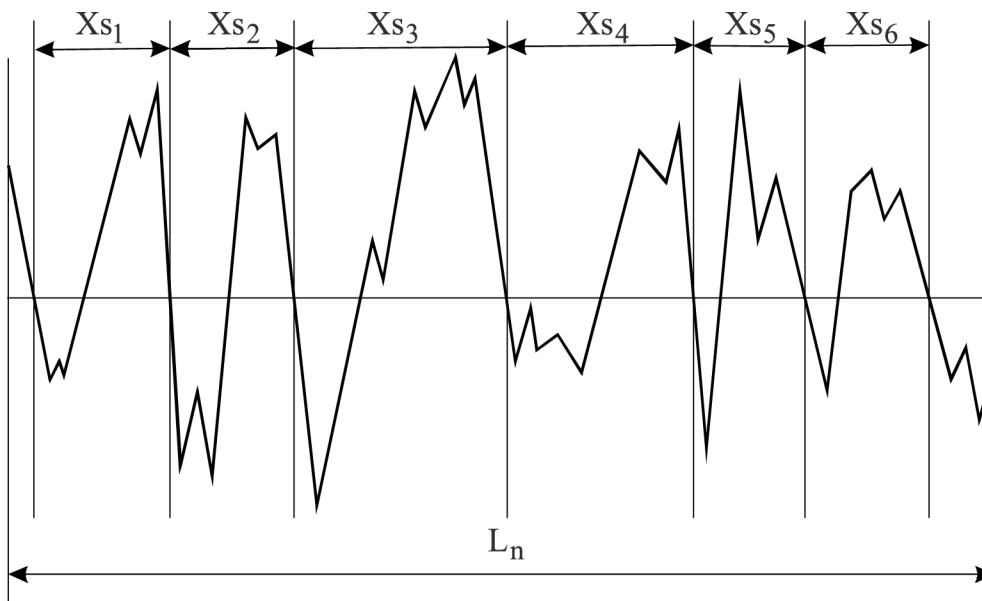


Abb. 14.17: Rillenbreite der Profilelemente

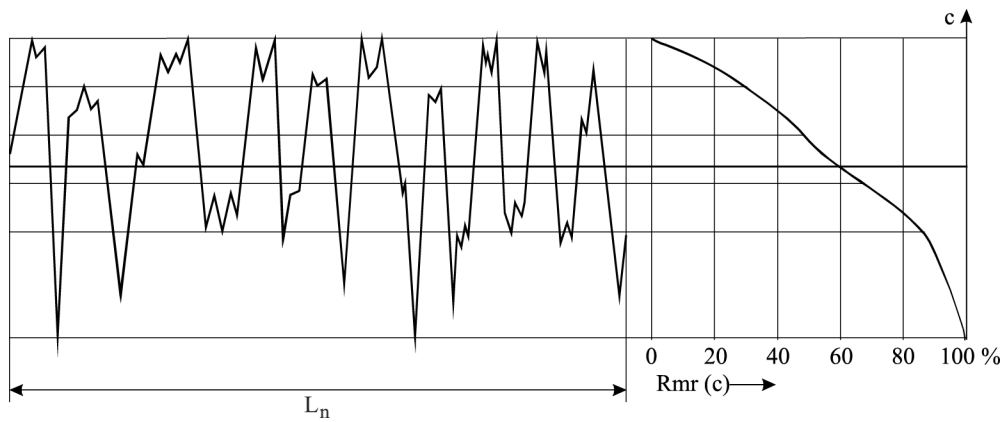


Abb. 14.18: Tragender Materialanteil eines Oberflächenprofils

Kenngrößen	Benennung
<i>Profile allgemein:</i> Höhe der größten Profilspitze Tiefe des größten Profiltals größte Höhendifferenz des Profils mittlere Höhe der Profilelemente Gesamthöhe des Profils innerhalb der Messstrecke	Rp Rv Rz Rc Rt
<i>Aperiodische Profile (Schleifen, Erodieren, etc.):</i> größte Höhendifferenz des Profils arithmetischer Mittelwert der Profilordinaten quadratischer Mittelwert der Profilordinaten	Rz Ra Rq
Schiefe des Profils Steilheit des Profils	Rsk Rku
<i>Periodische Profile (Drehen, Fräsen, Hobeln, etc.):</i> mittlere Rillenbreite der Profilelemente quadratischer Mittelwert der Profilordinaten	RSm Rq
quadratischer Mittelwert der Profilsteigung	R Δ q
Materialanteilkurve des Profils	Rmr(c)
Höhendifferenz zwischen zwei Schnittlinien	RSc
Materialanteil	Rmr

Abb. 14.19: Kenngrößen zur Oberflächenquantifizierung nach ISO 4287

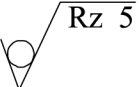
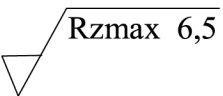
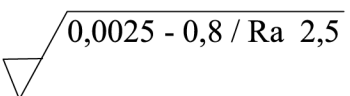
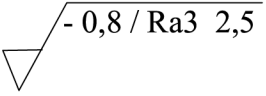
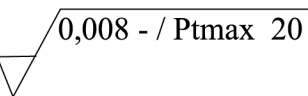
Symbol	Erläuterung und Bedeutung
	Materialabtragende Bearbeitung ist unzulässig, R-Profil, Regelübertragungscharakteristik, einseitig vorgegebene obere Grenze, größte Rautiefe 5 µm innerhalb einer Einzelmessstrecke, Messstrecke aus 5 Einzelmessstrecken, „16-%-Regel“
	Materialabtragende Bearbeitung ist verlangt, R-Profil, Regelübertragungscharakteristik, einseitig vorgegebene obere Grenze mit größter gemittelter Rautiefe 6,5 µm, Messstrecke aus 5 Einzelmessstrecken, „max-Regel“
	Materialabtragende Bearbeitung ist verlangt, R-Profil, Übertragungscharakteristik: 0,0025–0,8 mm (d. h. $\lambda_s = 0,0025$, $\lambda_c = L_r = 0,8$), einseitig vorgegebene obere Grenze, Mittenrauwert: 2,5 µm, Messstrecke aus 5 Einzelmessstrecken, „16-%-Regel“
	Materialabtragende Bearbeitung ist verlangt, R-Profil, Übertragungscharakteristik: Einzelmessstrecke 0,8 mm (λ_s -Regelwert = 0,0025 mm), einseitig vorgegebene obere Grenze, Mittenrauwert: 2,5 µm, Messstrecke aus 3 Einzelmessstrecken, „16-%-Regel“
	Materialabtragende Bearbeitung ist verlangt, P-Profil, Übertragungscharakteristik: $\lambda_s = 0,008$ mm, kein Langwellenfilter λ_c , einseitig vorgegebene obere Grenze für Profil-Gesamthöhe: 20 µm, Messstrecke gleich Werkstücklänge, „max-Regel“

Abb. 14.20: Eintragsbeispiele in technischen Zeichnungen für Anforderungen an die Oberfläche

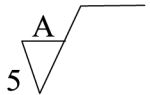
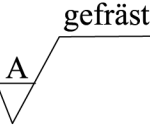
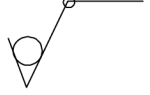
Symbol	Erläuterung und Bedeutung
	Bearbeitungszugabe 5 mm für die gekennzeichnete Oberfläche
	Bearbeitungsangabe für die gekennzeichnete Oberfläche: Materialabtrag durch Fräsen
	Alle Bearbeitungsverfahren und mehrfache Richtungen der Oberflächenrillen sind zulässig.
	Die Oberflächenangabe (Materialabtrag unzulässig) gilt für den gesamten Außenriss der Ansicht.

Abb. 14.21: besondere Vereinbarungen zur Oberflächenbearbeitung

$\sqrt{\text{A}}$ $\frac{\text{Ra } 0,8}{\text{=Rz1 } 3,0}$ $\frac{\text{gefräst}}{\text{Ra } 0,8}$

Abb. 14.22: Vereinbarung paralleler Rillenstruktur für eine Oberfläche

Symbole	Vereinbarung	Bedeutung/Eintragung
=	Rillen <i>parallel</i> zur Projektionsebene der Ansicht, auf die das Symbol weist	
⊥	Rillen <i>rechtwinklig</i> zur Projektionsebene, auf die das Symbol weist	
X	Rillen <i>gekreuzt</i> in zwei schrägen Richtungen zur Projektionsebene der Ansicht, auf die das Symbol weist	
M	Rillen in <i>mehrfachen</i> Richtungen zur Projektionsebene der Ansicht, auf die das Symbol weist	
C	Rillen annähernd <i>konzentrisch</i> zur Mitte der Oberfläche, auf die das Symbol weist	
R	Rillen annähernd <i>radial</i> zur Mitte der Oberfläche, auf die das Symbol weist	
P	<i>Nichtrillige</i> Oberfläche darf ungerichtet oder muldig sein	

Abb. 14.23: Angabe und Vereinbarung von Oberflächenrillen

	ISO 128	ASME Y14.5M
Maßzahlen	stehen auf der Maßlinie	Die Maßlinie wird für die Maßzahl unterbrochen. (Maßzahl auf Linie ist auch zulässig aber unüblich.)
Maßlinien und Maßhilfslinien	enden an der Körperkante	Zwischen Linie und Körperkante besteht eine kleine Lücke.
	werden nicht unterbrochen, wenn sie sich schneiden	werden unterbrochen, wenn sie sich schneiden
Hauptleserichtung	gerade oder von links	vom unteren Rand her lesbar (gerade)
Allgemein	DIN ISO 128	Maße sollen immer von unten lesbar sein.
Koordinatenbe- messung	Maße sollen von unten oder von rechts lesbar sein.	Maße sollen von unten lesbar sein.

Tabelle 15.1: Unterschiede in der Maßeintragung

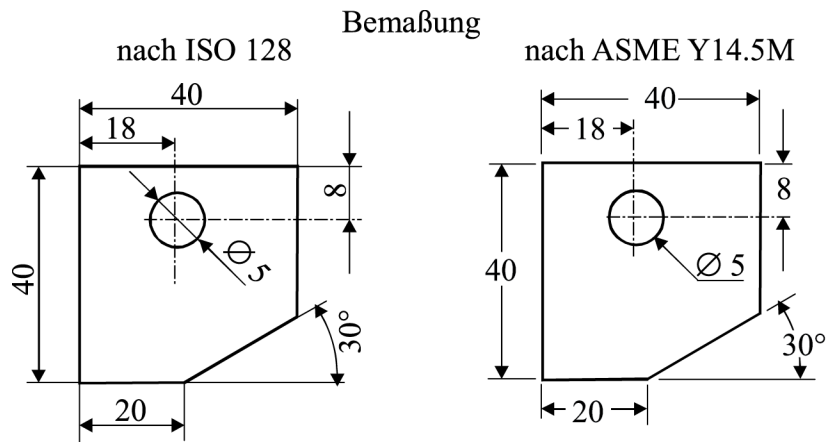
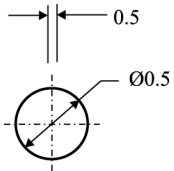
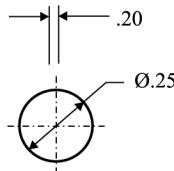
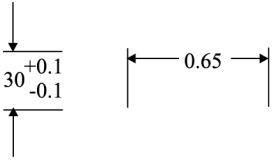
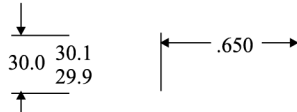


Abb. 15.1: Besonderheiten für die Eintragung von Maßen und Maßpfeilen

Millimeter-Bemaßung	Dezimal-Inch-Bemaßung
Bei Maßen kleiner Millimeter steht eine Null vor dem Punkt. 	Bei Maßen kleiner ein Inch steht keine Null vor dem Punkt. 
Der letzten Ziffer rechts vom Dezimalpunkt folgt keine Null. 	Die Maßangabe erfolgt mit der gleichen Anzahl von Ziffern wie die Toleranzangabe. Wenn notwendig, werden rechts vom Dezimalpunkt Nullen hinzugefügt. 

Tab. 15.2: Unterschiede zwischen Millimeter und Dezimal-Inch-Bemaßung in ASME Y14.5M

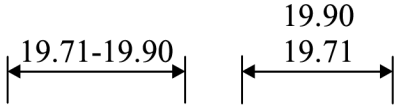
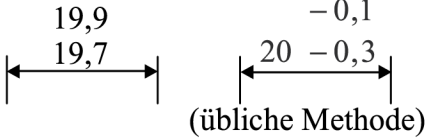
Eintragung von Grenzmaßen	
ASME	DIN ISO 128
	

Abb. 15.2: Unterschiede bei der Eintragung von Grenzmaßen

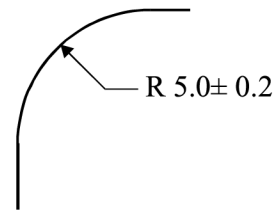
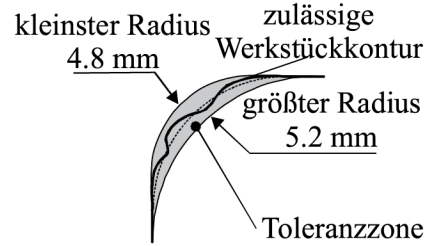
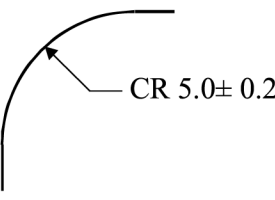
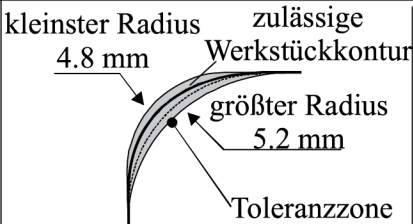
Zeichnungseintragung	ASME Y14.5M	DIN 406-10
 R 5.0 ± 0.2	 kleinster Radius 4.8 mm zulässige Werkstückkontur größter Radius 5.2 mm Toleranzzone	
 CR 5.0 ± 0.2	 kleinster Radius 4.8 mm zulässige Werkstückkontur größter Radius 5.2 mm Toleranzzone	NICHT DEFINIERT

Abb. 15.3: Tolerierung eines Radius mit R und CR

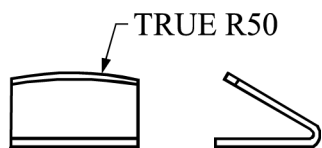


Abb. 15.4: Möglichkeit zur Bemaßung von verzerrten Radien

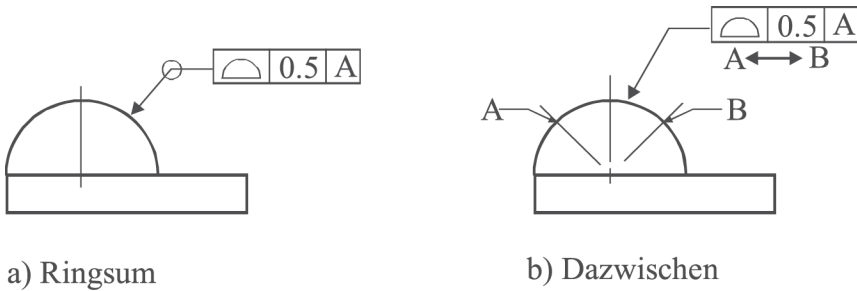
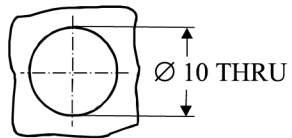


Abb. 15.5: Tolerierungsangabe ALL AROUND und BETWEEN

a) Durchgangsbohrung



b) Zylindersenkung
vereinfachte Eintragung und herkömmliche Methode

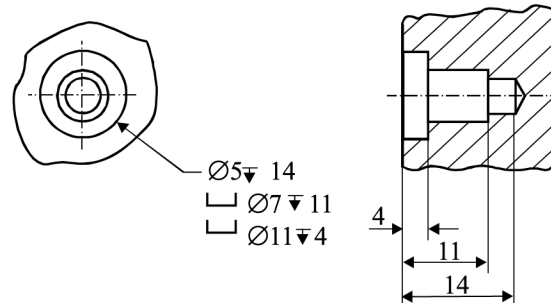


Abb. 15.6: Bemaßung von Durchgangsbohrungen und Bohrungen mit Zylindersenkung

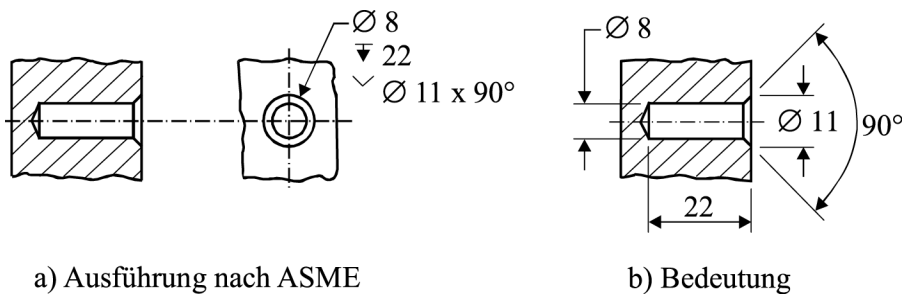


Abb. 15.7: Bemaßung von Bohrungen mit Kegelsenkung

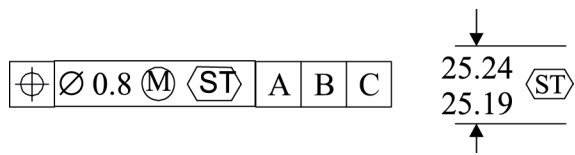


Abb. 15.8: Kennzeichnung von statistischen Toleranzen

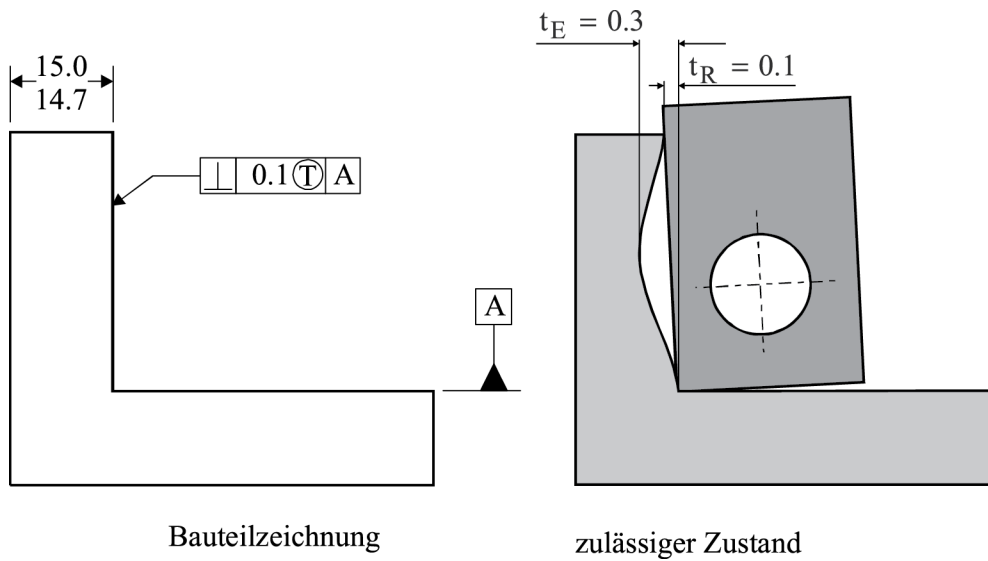
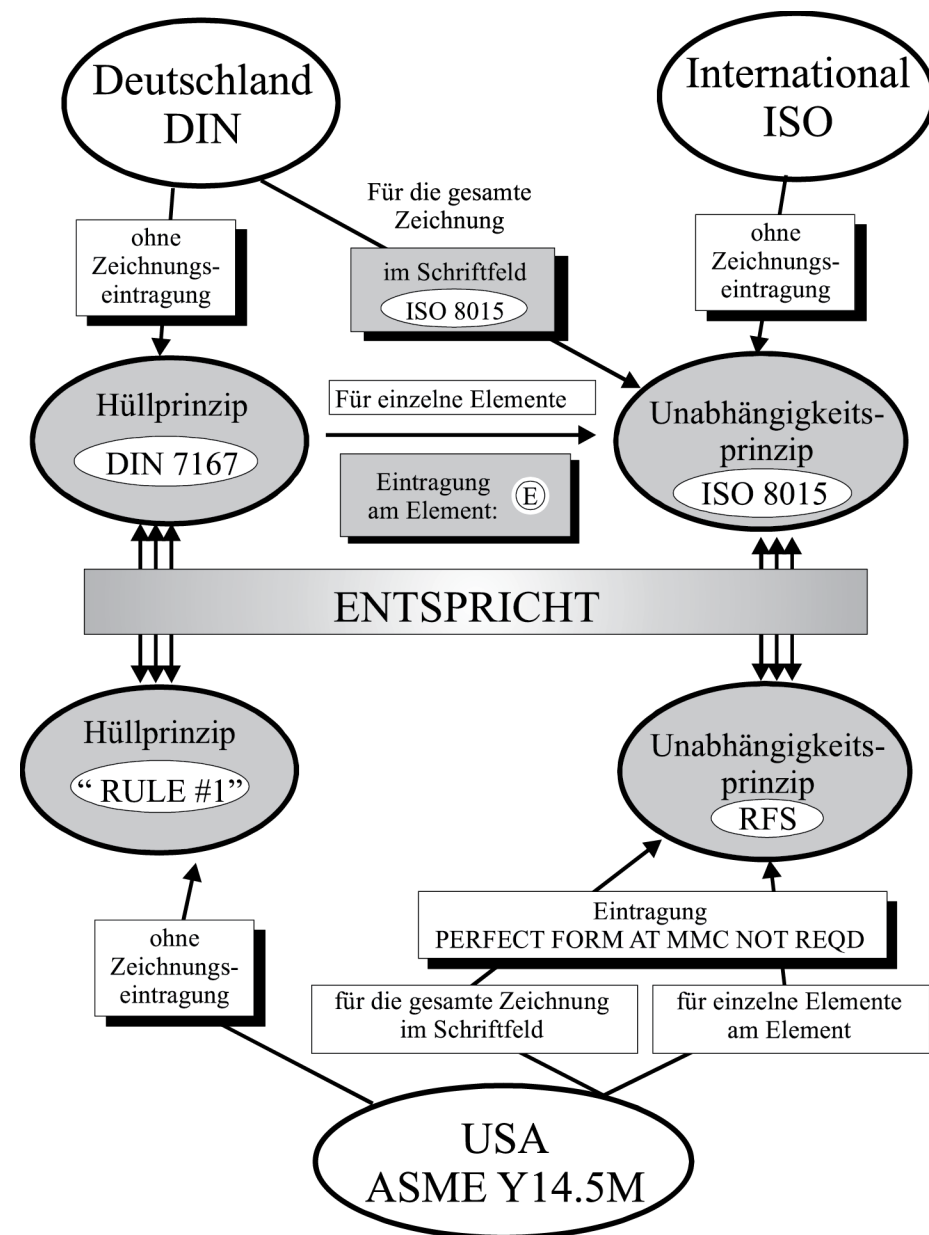


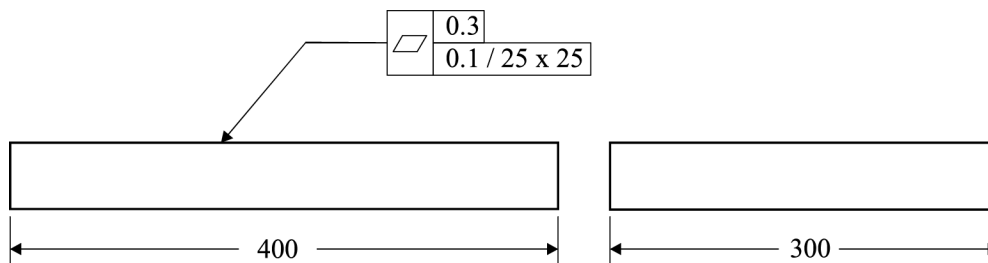
Abb. 15.9: Toleranzangabe einer Tangentenebene und deren Interpretation

Abb. 15.10: Anwendungsbereich der Toleranzprinzipien bis Stand 2011



Begriff	DIN ISO 2692	ASME Y14.5M
Maximum-Material-Zustand (engl.: Maximum-Material-Condition)	MMC	MMC (In ASME Y14.5M wird zwischen Max.-Mat.-Zustand und Max.-Mat.- Maß nicht unterschieden.)
Maximum-Material-Maß (engl.: Maximum-Material-Size)	MMS	
Minimum-Material-Zustand (engl.: Minimum-Material-Condition)	LMC	LMC (In ASME Y14.5M wird zwischen Min.-Mat.-Zustand und Min.-Mat.- Maß nicht unterschieden.)
Minimum-Material-Maß (engl.: Minimum-Material-Size)	LMC	

Tabelle 15.3: Begriffsdefinition Materialprinzipien



Lage der Toleranzzonen eines Linienelementes

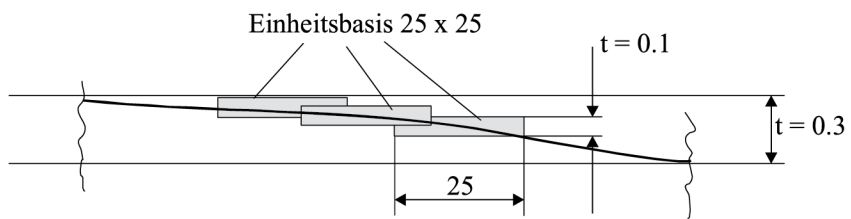
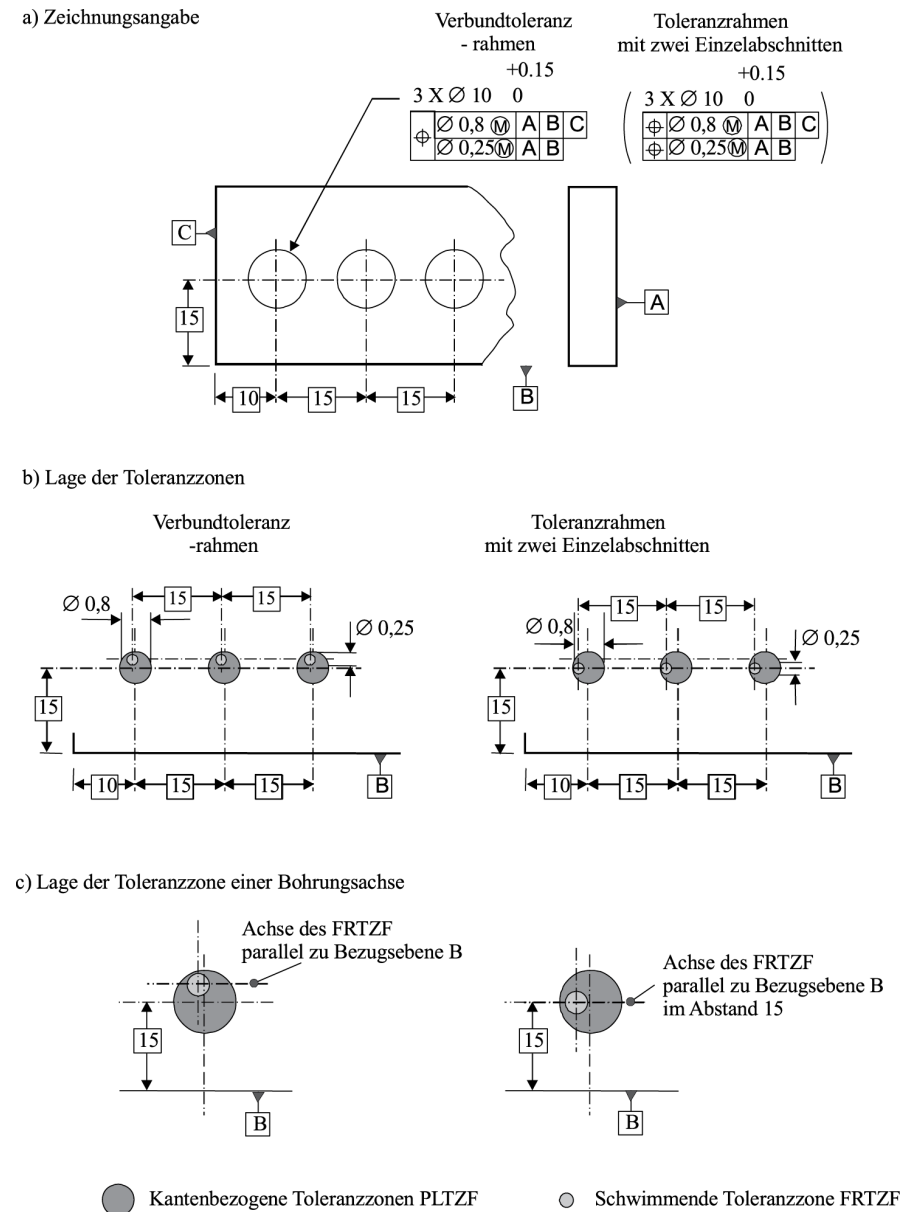


Abb. 15.11: Angabe einer Ebenheitstoleranz auf Einheitsbasis und deren Interpretation

Profiltoleranzen	Positionstoleranzen
DIN ISO 1101 : 2014 Form und Lagetolerierung Kap. 17.10	DIN EN ISO 5458 : 1999 Form und Lagetolerierung Positionstolerierung
ASME Y14.5M Kap. 6.5	ASME Y14.5M Kap. 5.3

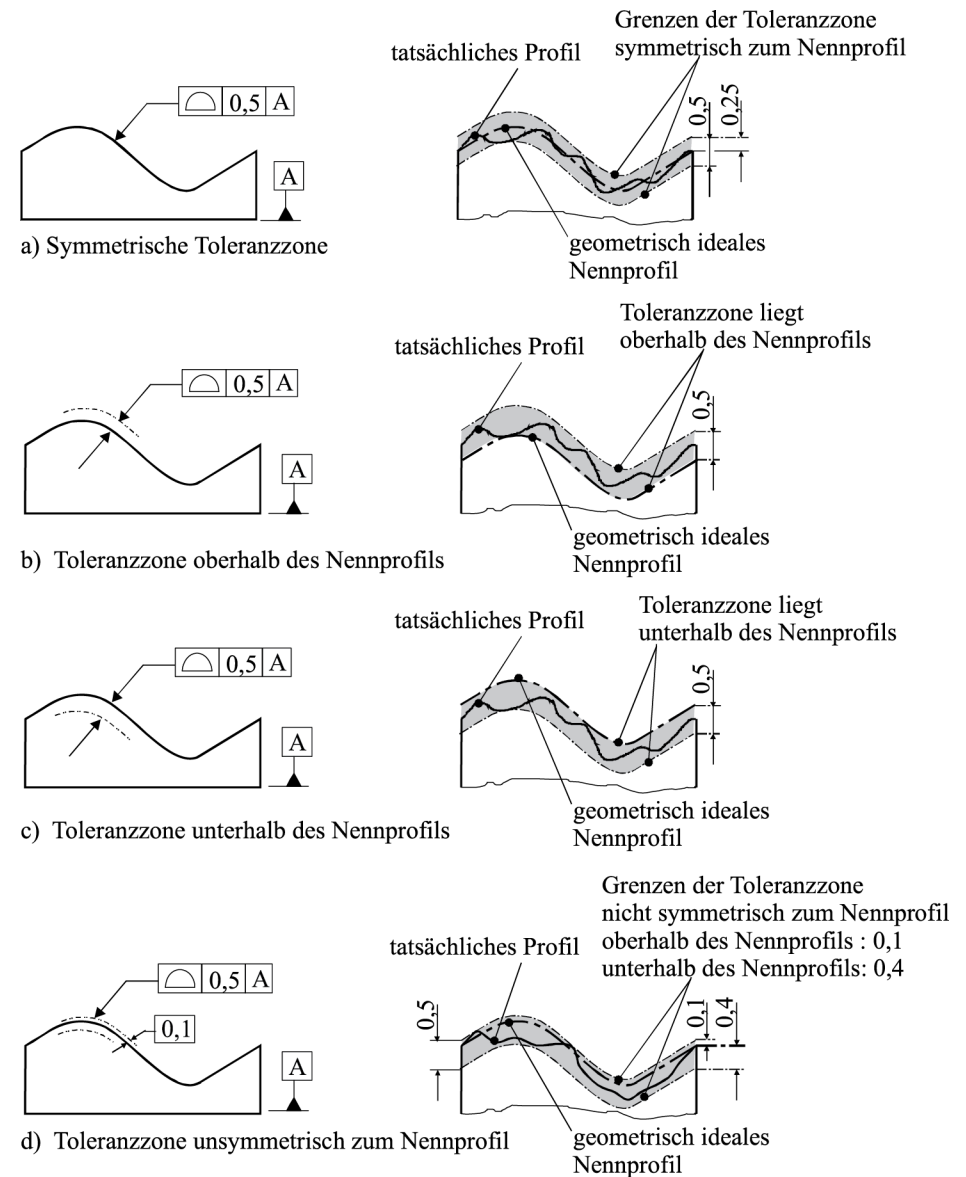
Abb. 15.12: Verbundtoleranzrahmen/Rahmen mit zwei Einzelabschnitten



Toleranzzonen des schwimmenden Bezugssystems FRTZF		
Verbundtoleranzrahmen		Rahmen mit zwei Einzelabschnitten
Bezug A	Die Zylinder stehen senkrecht auf Bezugsfläche A.	
Bezug B	Zylinder sind als Gruppe parallel zum Bezug B angeordnet.	Zylinder sind als Gruppe parallel zum Bezug B angeordnet.
	Das theoretisch genaue Maß $\boxed{15}$ muss nicht eingehalten werden.	Das theoretisch genaue Maß $\boxed{15}$ muss zusätzlich eingehalten werden.
Bezug C	Da der Bezug C im unteren Teil nicht aufgeführt wird, sind die Toleranzzylin- der des FRTZF im Bezug auf C frei verschiebbar. Sie müssen jedoch im Rah- men des kantenbezogenen Bezugssystems PLTZF liegen.	

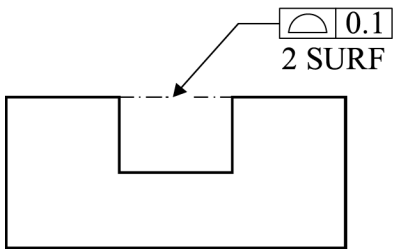
Tabelle 15.4: Verbundtoleranzrahmen/Rahmen mit zwei Einzelabschnitten

Abb. 15.13: Eintragung von Toleranzzonen bei Profiltoleranzen



Darstellung einer gemeinsamen Toleranzzone

a) nach ASME Y14.5M



a) nach DIN ISO 1101

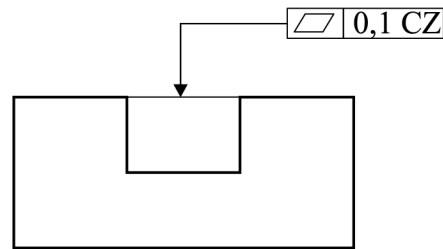


Abb. 15.14: Gemeinsame Toleranzzone

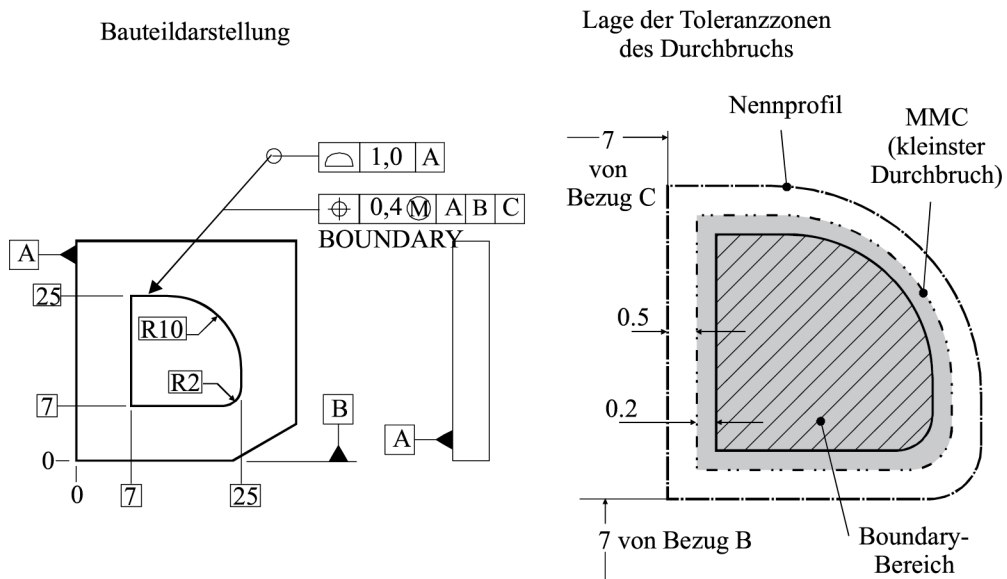


Abb. 15.15: Erweiterung des Maximum-Material-Prinzips durch Profilltolerierung

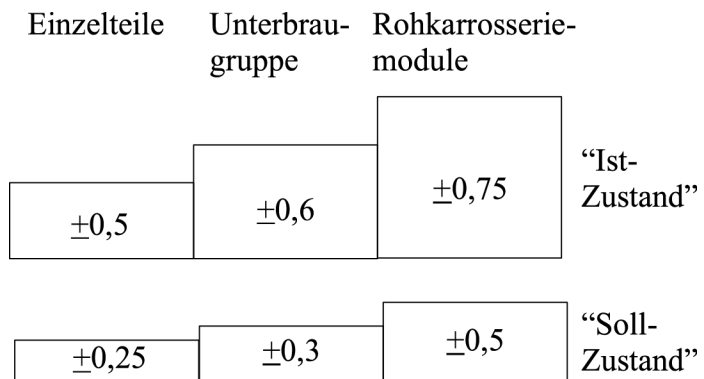


Abb. 16.1: Toleranzspektrum im Automobilbau

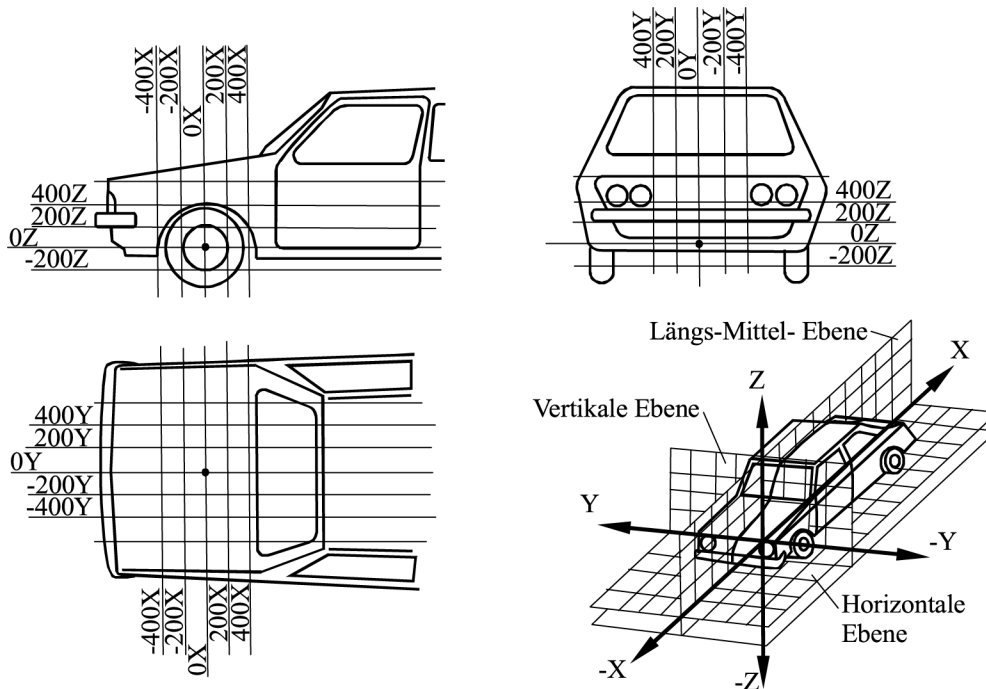


Abb. 16.2: Fahrzeug-Koordinatensystem mit seinen achsparallelen Netzlinien

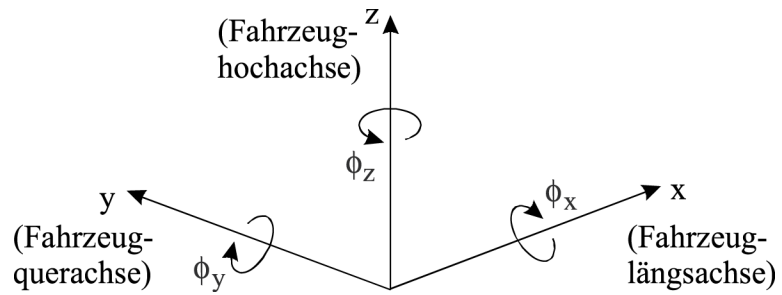


Abb. 16.3: Definition der Freiheitsgrade (FHGs) im 3-D-Raum

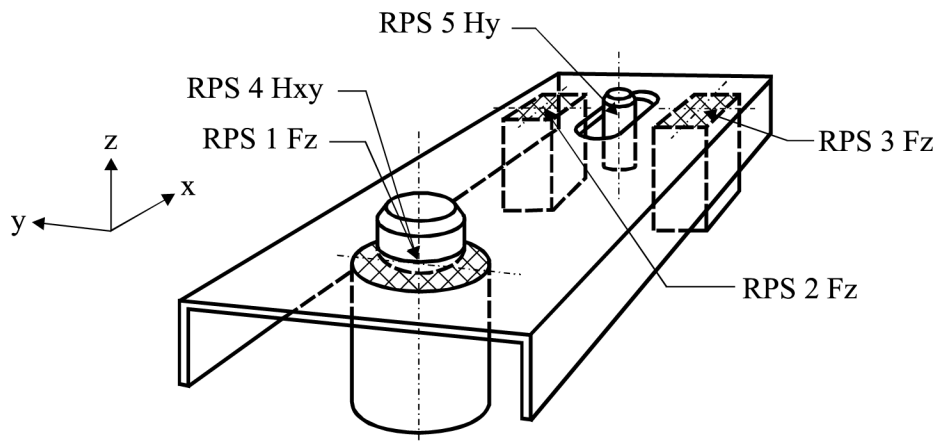


Abb. 16.4: Anwendung der „3-2-1-Regel“ am Beispiel (RPS 1 ist immer der Punkt, der die meisten FHGs sperrt.)

Haupt-Referenz-Punkte	=	Großbuchstaben	
1 bis 6	→	H =	Loch/Stift
1 bis 6	→	F =	Fläche/Punkt
1 bis 6	→	T =	theoretischer Punkt, wird aus zwei Nebenpunkten gebildet
System starrer Körper (Gelenk oder Verschiebeschlitzen)	=	Großbuchstaben	
51 bis 99	→	H/F/T	Loch/Stift/Fläche/Punkt
Neben-Referenz-Punkte (flexible und nicht eigenständige Teile)	=	Kleinbuchstaben	
ab 101	→	h =	Loch/Stift
ab 101	→	f =	Fläche/Punkt
21 bis 50	→	f/h =	Nebenpunkte aus denen ein T entsteht (Symmetrie)
Fixierungsrichtungen	=	Kleinbuchstaben	
ab 101	→	x, y, z	für netzparallele, bauteilorientierte Bezugssysteme
ab 101	→	a, b, c	für gedrehte, bauteilorientierte Bezugssysteme

Abb. 16.5: RPS-Symbolik nach VW-Werksnorm

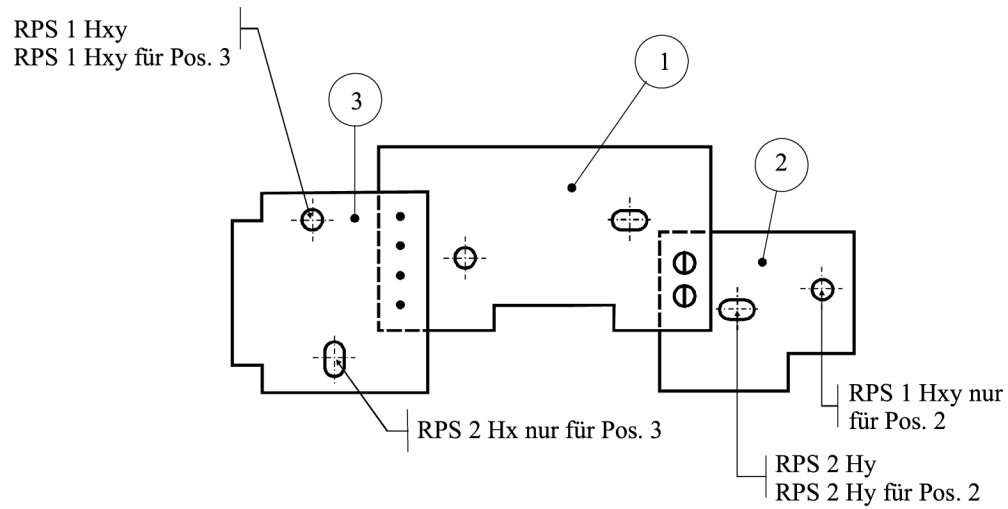


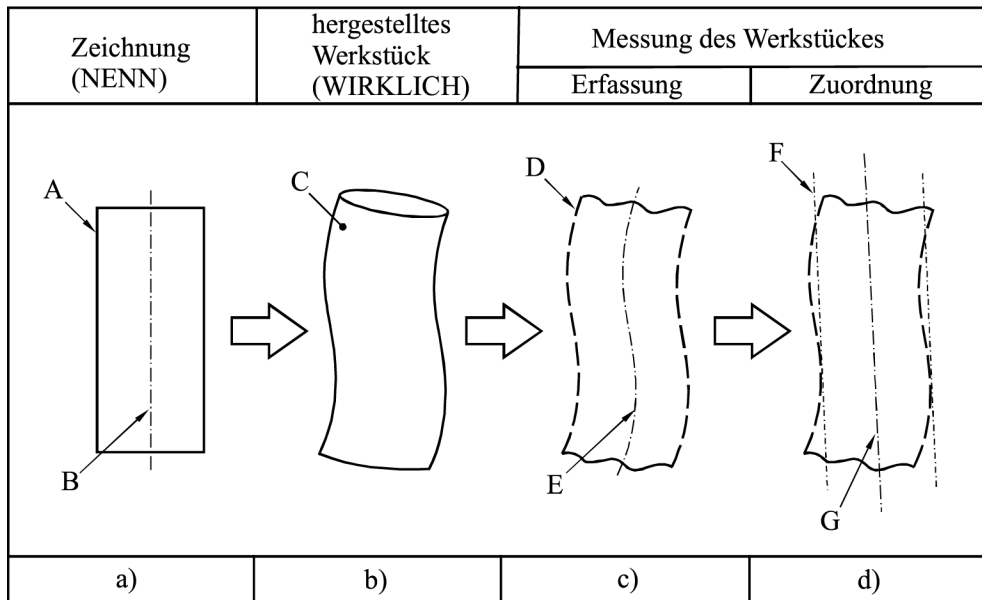
Abb. 16.6: Baugruppen mit RPS-Punkten (Angabe ohne Z-Aufnahme)

DEUTSCHE NORM		November 1999
	Geometrische Produktspezifikation (GPS)	<u>DIN</u>
	Geometrielemente	
	Teil 1: Grundbegriffe und Definitionen	EN ISO 14660-1
	(ISO 14660-1 : 1999) Deutsche Fassung EN ISO 14660-1 : 1999	
ICS 01.040.17; 01.100.20; 17.040.01		
Geometrical Product Specifications (GPS) – Ge		

Abb. 17.1: Kopfleiste einer deutschen, europäischen und internationalen GPS-Norm

GPS-Grundnormen	Globale GPS-Normen
	GPS-Normen oder verwandte Normen, die verschiedene oder alle GPS-Normenketten behandeln und beeinflussen
	Matrix allgemeiner GPS-Normen
	Allgemeine GPS-Normenketten
	Normenkette <i>Maß</i>
	Normenkette <i>Abstand</i>
	Normenkette <i>Radius</i>
	Normenkette <i>Winkel</i>
	Normenkette <i>Form einer Linie</i> (bezugsunabhängig)
	Normenkette <i>Form einer Linie</i> (bezugsabhängig)
	Normenkette <i>Form einer Oberfläche</i> (bezugsunabhängig)
	Normenkette <i>Form einer Oberfläche</i> (bezugsabhängig)
	Normenkette <i>Richtung</i>
	Normenkette <i>Lage</i>
	Normenkette <i>Rundlauf</i>
	Normenkette <i>Gesamtlauf</i>
	Normenkette <i>Bezüge</i>
	Normenkette <i>Oberflächenrauheit</i>
	Normenkette <i>Oberflächenwelligkeit</i>
	Normenkette <i>Grundprofil</i>
	Normenkette <i>Oberflächenfehler</i>
	Normenkette <i>Kanten</i>
	Matrix ergänzender GPS-Normen
	Ergänzende GPS-Normenkette
	A. Toleranznormen für bestimmte Fertigungsverfahren
	A1. Normenkette <i>Spanen</i>
	A2. Normenkette <i>Gießen</i>
	A3. Normenkette <i>Schweißen</i>
	A4. Normenkette <i>Thermoschneiden</i>
	A5. Normenkette <i>Kunststoffformen</i>
	A6. Normenkette <i>Metallischer und anorganischer Überzug</i>
	A7. Normenkette <i>Anstrich</i>
	B. Geometrienormen für Maschinenelemente
	B1. Normenkette <i>Gewindeteile</i>
	B2. Normenkette <i>Zahnräder</i>
	B3. Normenkette <i>Keilwellen</i>

Abb. 17.2: Übersicht über GPS-Matrixmodell

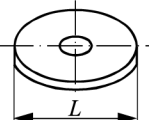
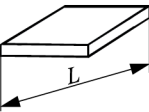


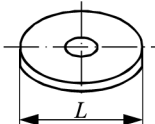
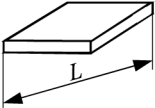
- A vollständiges Nenn-Geometrieelement
 B abgeleitetes Nenn-Geometrieelement
 C wirkliches Geometrieelement
 D erfasstes vollständiges Geometrieelement
 E erfasstes abgeleitetes Geometrieelement
 F zugeordnetes vollständiges Geometrie-
element
 G zugeordnetes abgeleitetes Geometrie-
element

Abb. 17.3: Erfassung der realen Werkstückgeometrie durch Ableitung von der Nenn-Geometrie

Kettengliedernummer		1	2	3	4	5	6
geometrische Eigenschaften des Elementes		Angaben der Produktdokumenten-Codierung	Definition der Toleranzen – Theoretische Definition und Werte	Definitionen der Eigenschaften des Istformelementes oder der Kenngrößen	Ermittlung der Abweichungen des Werkstücks – Vergleich mit Toleranzgrenzen	Anforderungen an Messeinrichtungen	Kalibrieranforderungen – Kalibriernormen
1.	Maß						
2.	Abstand						
3.	Radius						
4.	Winkel (Toleranz in Grad)						
5.	Form einer Linie (bezugsunabhängig)						
6.	Form einer Linie (bezugsabhängig)						
7.	Form einer Oberfläche (bezugsunabhängig)						
8.	Form einer Oberfläche (bezugsabhängig)						
9.	Richtung						
10.	Lage						
11.	Rundlauf						
12.	Gesamtlauf						
13.	Bezüge						
14.	Oberflächenrauheit						
15.	Oberflächenwelligkeit						
16.	Grundprofil						
17.	Oberflächenfehler						
18.	Kanten						

Abb. 17.4: Übersicht über das GPS-Matrixmodell

Größte Länge L der zu bear- beitenden Flä- che		Ebenheitstoleranzen in mm				
						
über (mm)	bis (mm)	beim Läppen	beim Schleifen	beim Fräsen	beim Drehen	beim Planieren
	10	0,002	0,005	0,015	0,020	0,040
10	25	0,004	0,015	0,030	0,040	0,080
25	50	0,006	0,030	0,045	0,080	0,160
50	120	0,010	0,050	0,060	0,120	0,280
120	250	0,012	0,060	0,070	0,140	0,360

Größte Länge L der zu bear- beitenden Flä- che		Parallelitätstoleranzen in mm			
					
über (mm)	bis (mm)	beim Drehen	beim Fräsen	beim Schleifen	bei Pressteilen
	10	0,03	0,05	0,01	0,040
10	25	0,05	0,05	0,02	0,080
25	50	0,10	0,10	0,05	0,160
50	120	0,10	0,15	0,08	0,280
120	250	0,15	0,20	0,10	0,360

Durch- messer		 Rundheitstoleranzen in mm				
über (mm)	bis (mm)	beim Drehen		beim Schleifen		
		zwischen Spitzen	im Futter, in Zange	zwischen Spitzen	im Futter, in Zange	spitzenlos
	10	0,003	0,005	0,002	0,003	0,003
10	50	0,005	0,015	0,002	0,005	0,005
50	120	0,008	0,030	0,003	0,008	0,008
120	250	0,010	0,050	0,005	0,010	0,010

Größte Länge L der zu bear- beitenden Fläche		 Zylinderformtoleranzen in mm			
über (mm)	bis (mm)	für Wellen beim		für Bohrungen beim	
		Drehen	Schleifen	Drehen	Schleifen
	50	0,01	0,003	0,02	0,003
50	120	0,02	0,005	0,03	0,005
120	250	0,04	0,008	0,05	0,008
250	500	0,05	0,010	-	-

Durch- messer		 Planlauf- und Rundlauf- toleranzen in mm				
über (mm)	bis (mm)	beim Drehen		beim Schleifen		
		zwischen Spitzen	im Futter, in Zange	zwischen Spitzen	im Futter, in Zange	spitzenlos
	6	0,03	0,05	0,005	0,03	0,03
6	10	0,05	0,08	0,010	0,05	0,05
10	50	0,08	0,10	0,015	0,10	0,10
50	120	0,10	0,15	0,020	0,15	0,15
120	250	0,15	0,20	0,025	0,20	0,20

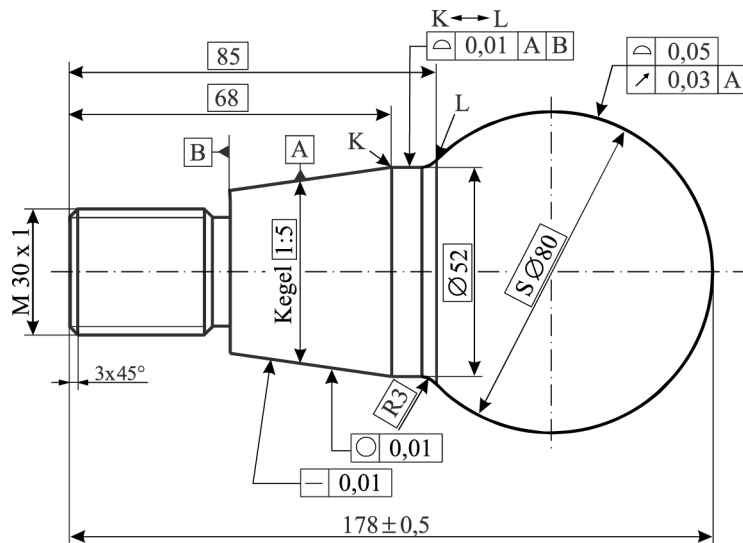


Abb. 20.1: Vermaßter und tolerierter Kugelzapfen mit den wesentlichen Maßen

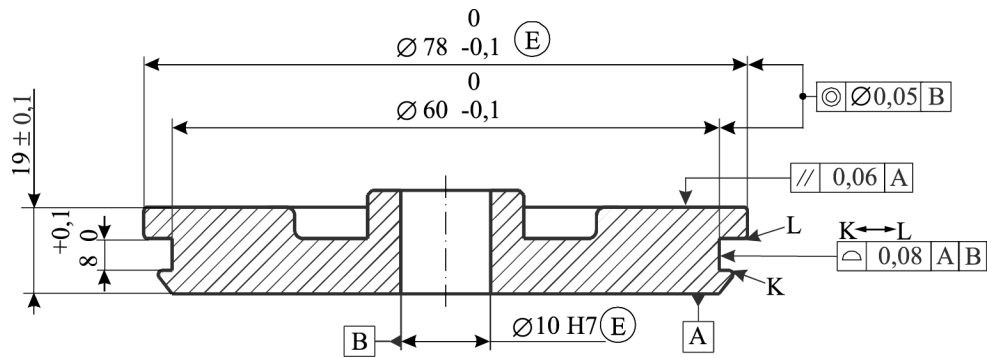


Abb. 20.2: Bemaßter und tolerierter Zylinderkolben mit den wesentlichen Maßen

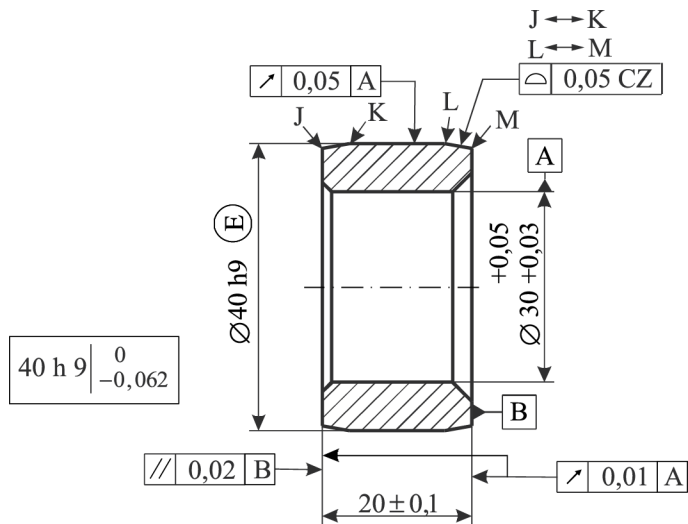


Abb. 20.3: Bemaßter und tolerierter Laufring mit den wesentlichen Maßen

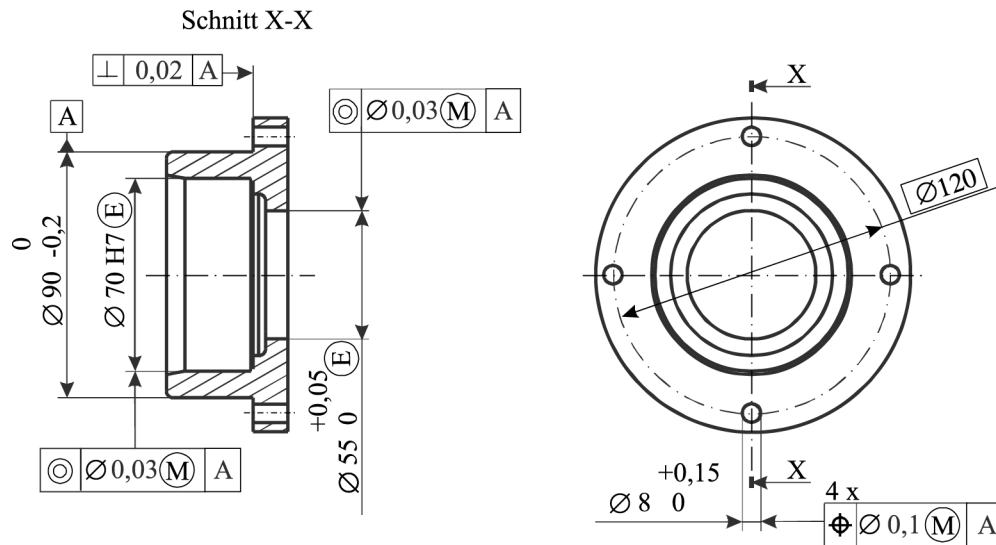


Abb. 20.4: Bemaßter und tolerierter Lagerdeckel mit den wesentlichen Maßen

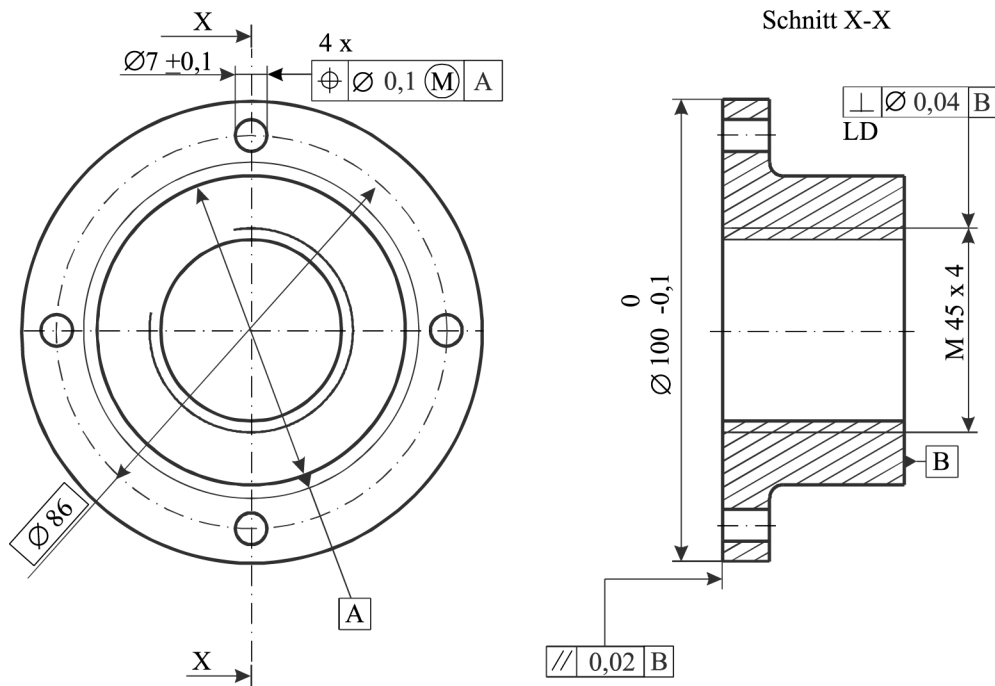


Abb. 20.5: Bemaßter und tolerierter Gewindeflansch mit den wesentlichen Funktionsmaßen

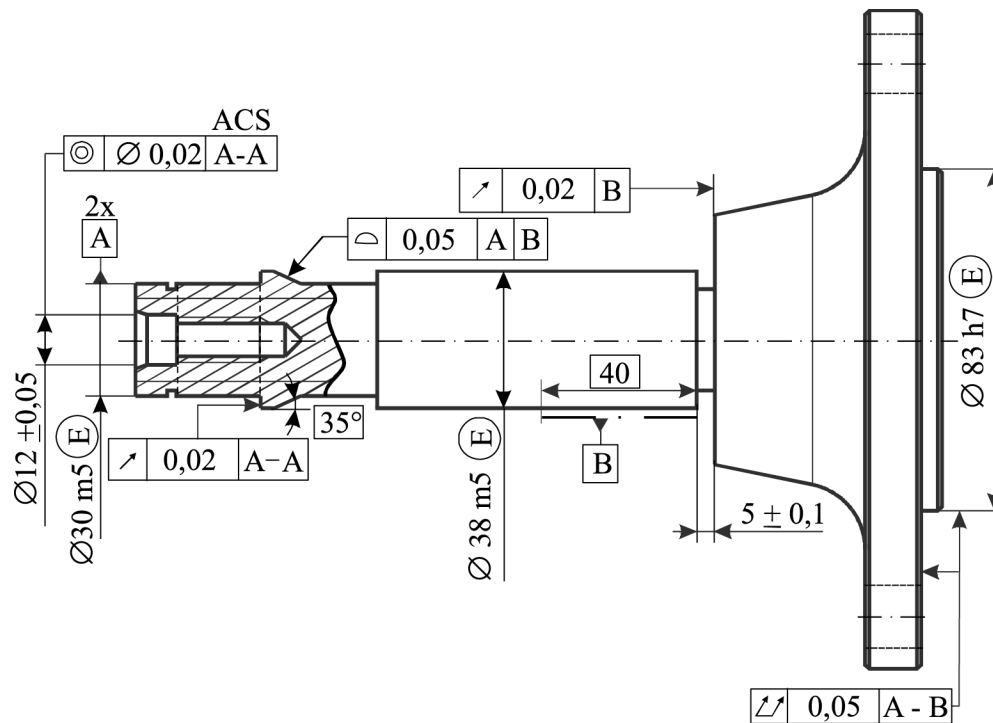


Abb. 20.6: Bemaßte und tolerierte Abtriebswelle mit den wesentlichen Maßen

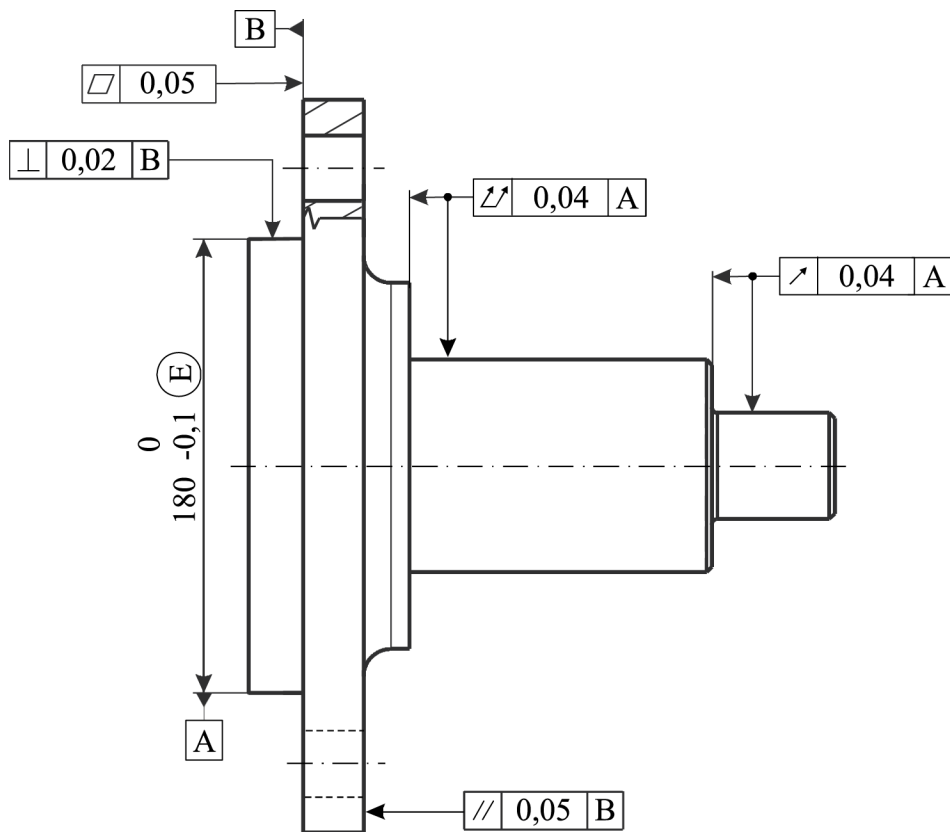


Abb. 20.7: Bemaßte und tolerierte Mitnehmerwelle mit den wesentlichen Maßen

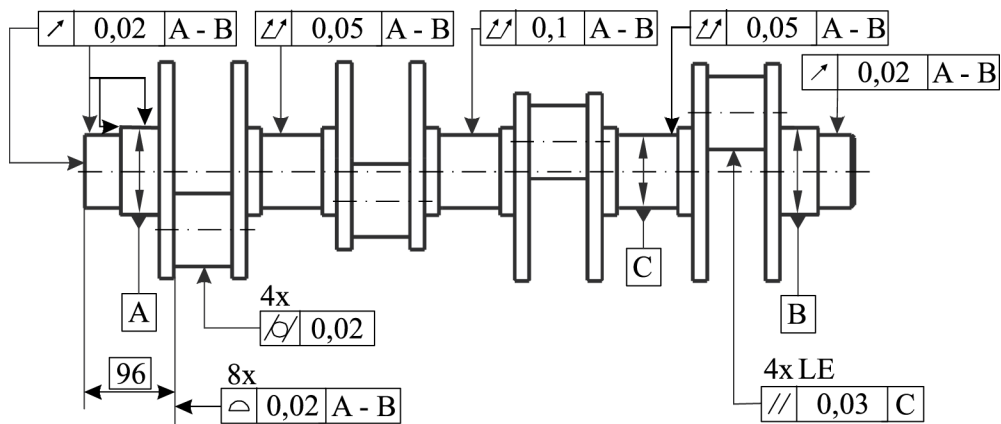


Abb. 20.8: Teilvermaßte und tolerierte Kurbelwelle mit den wesentlichen Maßen

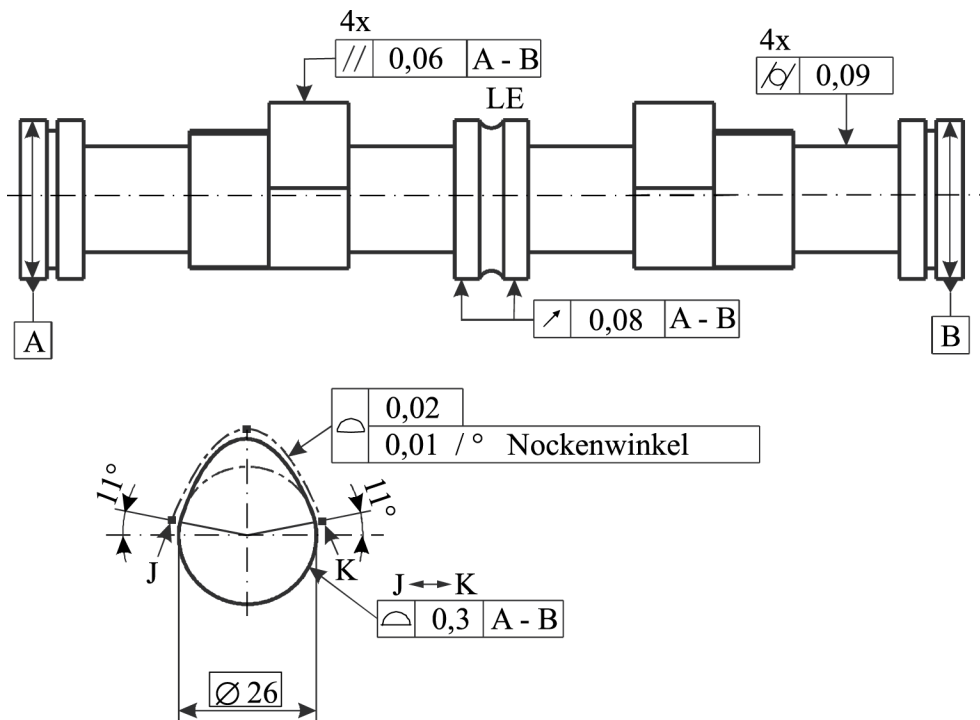
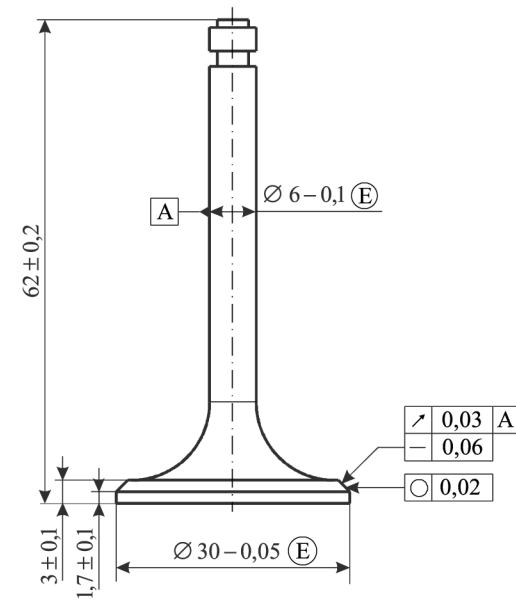


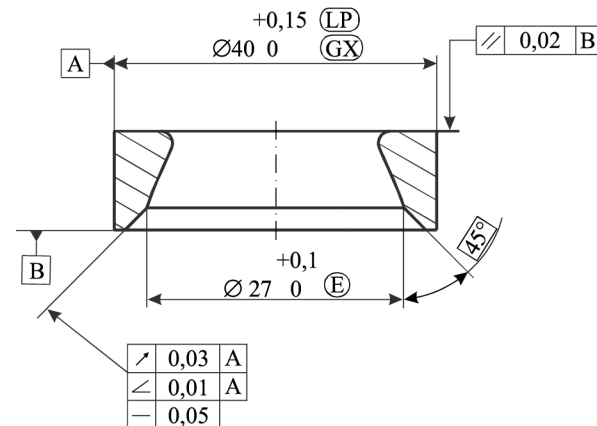
Abb. 20.9: Teilvermaße und tolerierte Nockenwelle mit den wesentlichen Maßen

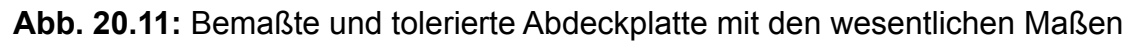
Abb. 20.10: a) Bemaßtes und toleriertes Ventil, b) Bemaßter und tolerierter Ventilsitz

a)



b)





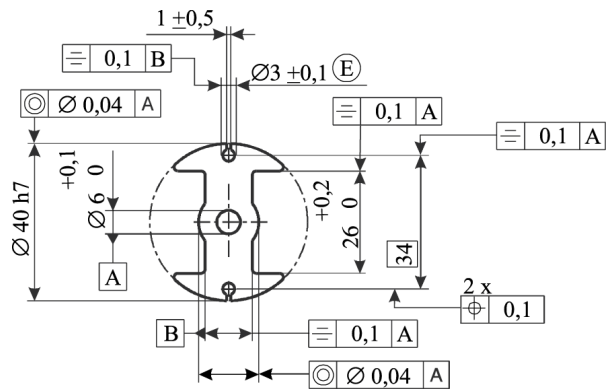


Abb. 20.12: Bemaßtes und toleriertes Rotorblech mit den wesentlichen Maßen

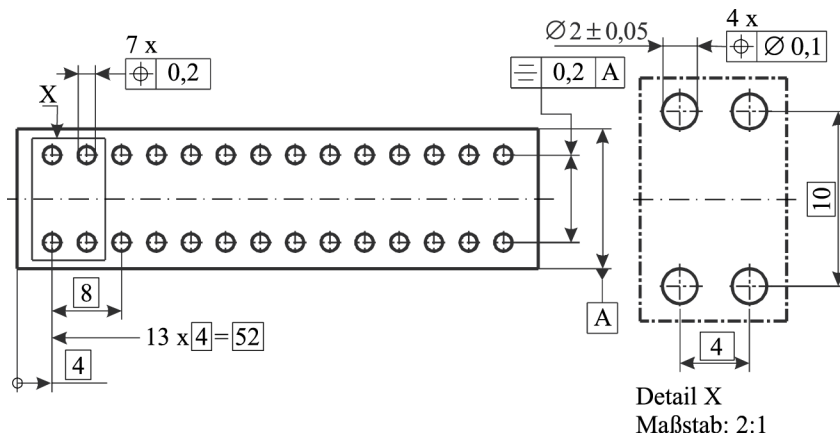


Abb. 20.13: Bemaßte und tolerierte Steckerleiste

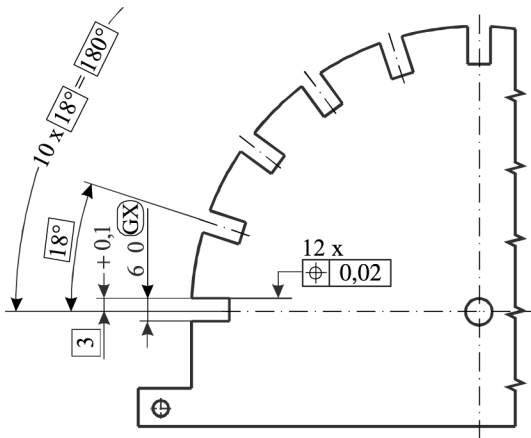


Abb. 20.14: Bemaßte und tolerierte Schaltscheibe nach /DIN 11/

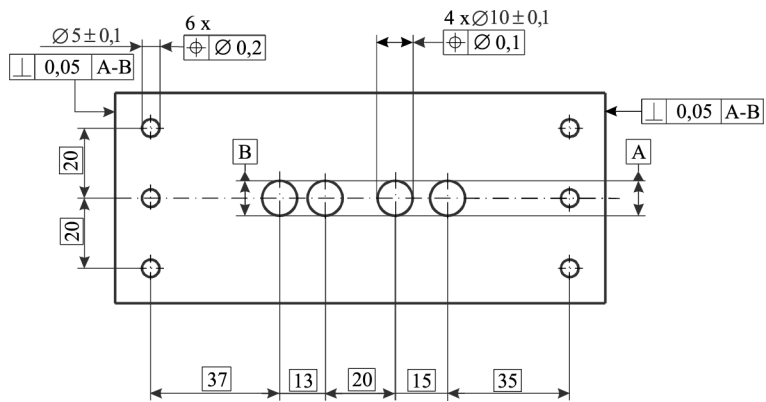


Abb. 20.15: Bemaßte und tolerierte Anschlussplatte nach /DIN 11/

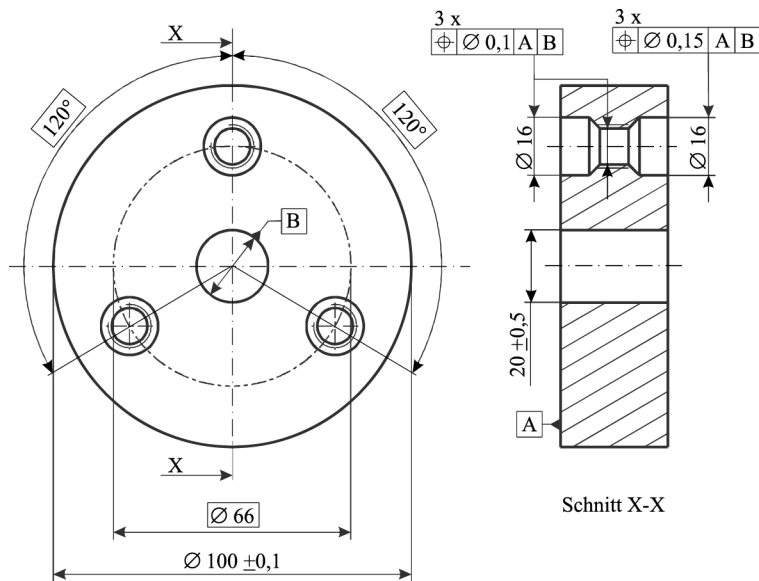


Abb. 20.16: Bemaßte und tolerierte Ausgleichsscheibe nach /DIN 01/

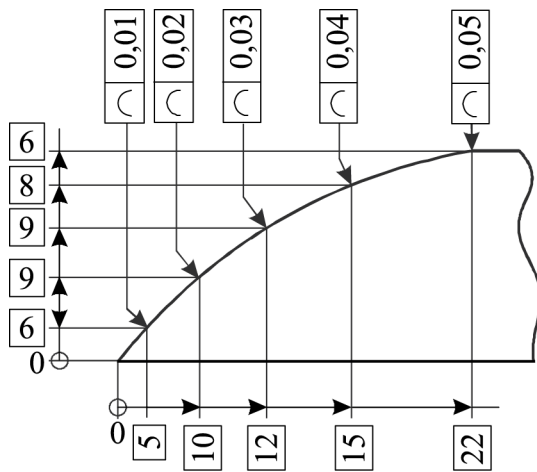


Abb. 20.17a: Tolerierte Freiformfläche

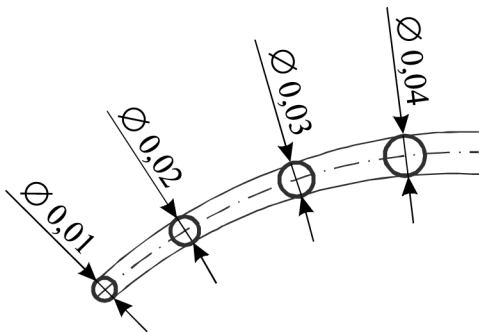


Abb. 20.17b: Veränderliche Toleranzzonen

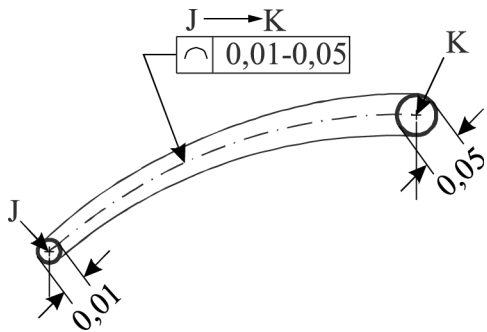


Abb. 20.17c: Alternative Angaben

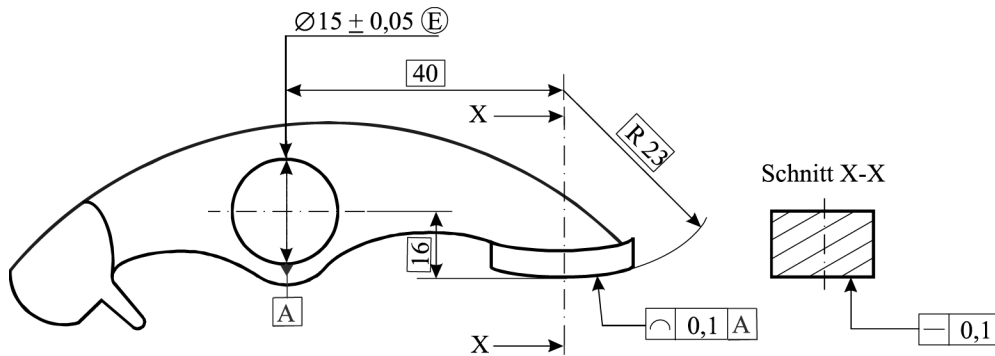


Abb. 20.18: Tolerierung von Kreissegmenten nach /DIN 11/

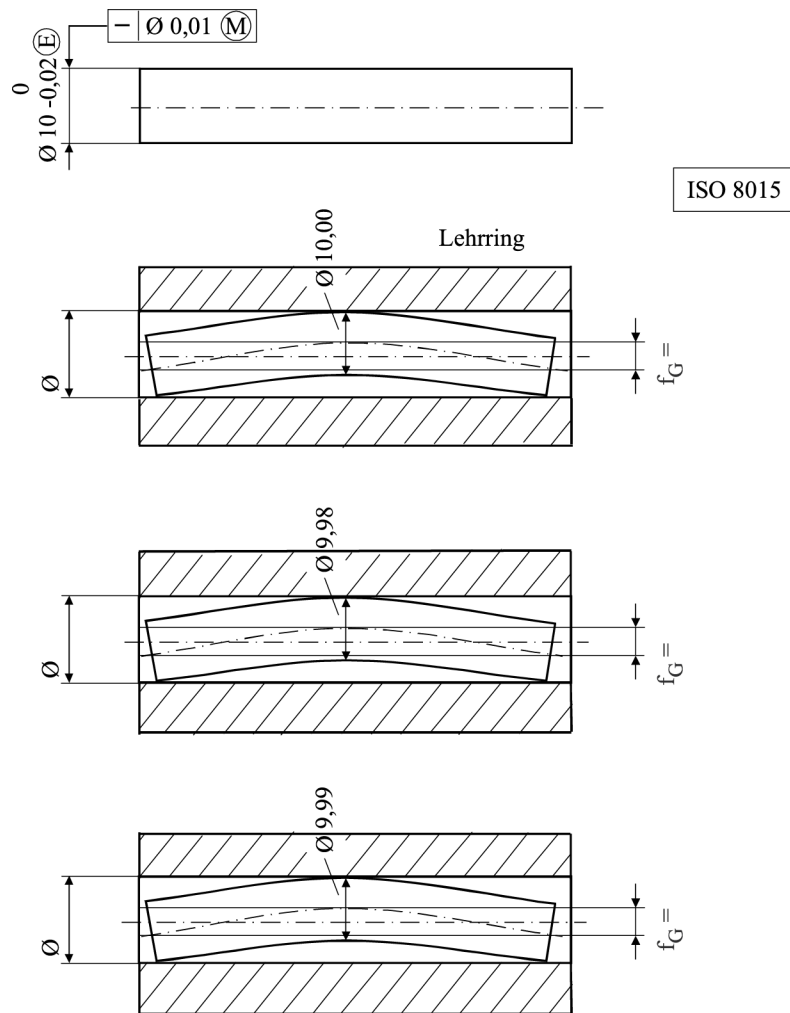
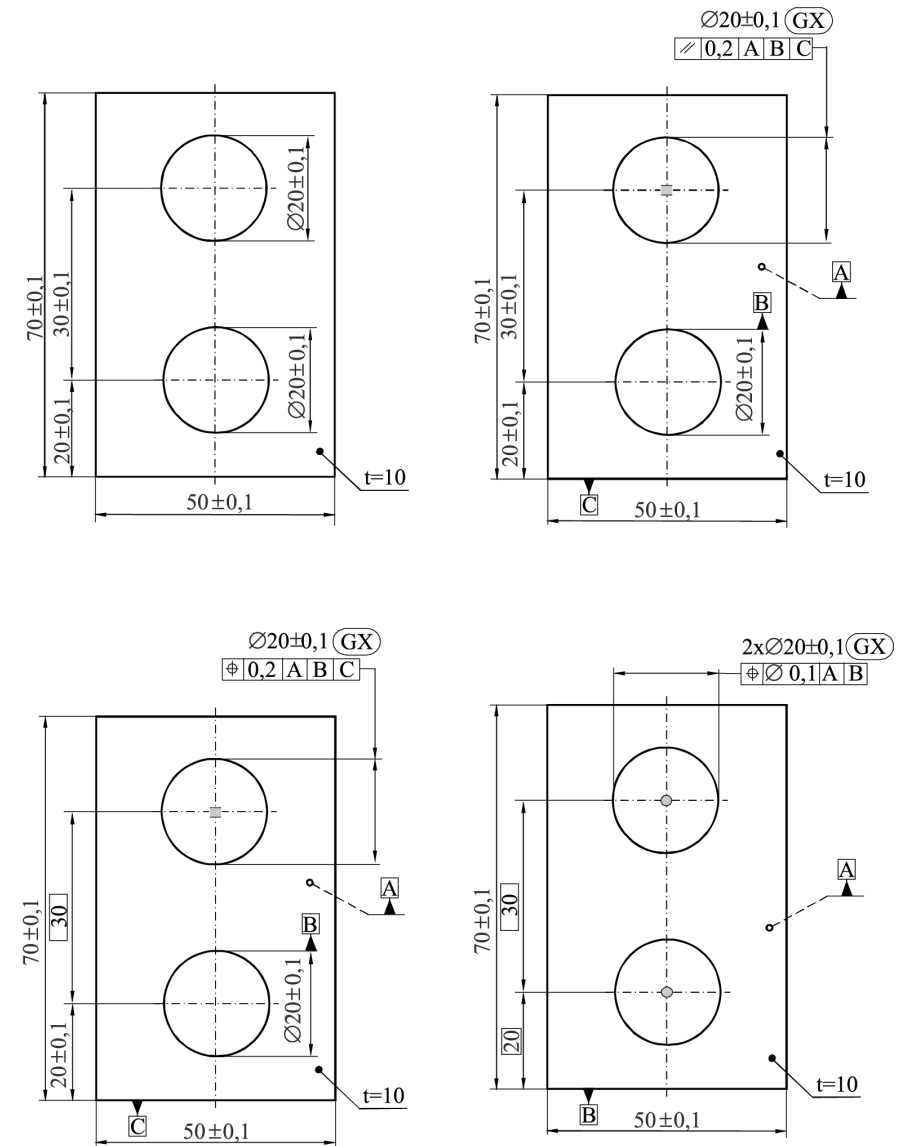


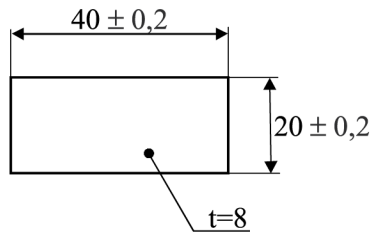
Abb. 21.1: Prüfsituation bei der Eingangsprüfung von Bolzen

Fallbeispiel 2

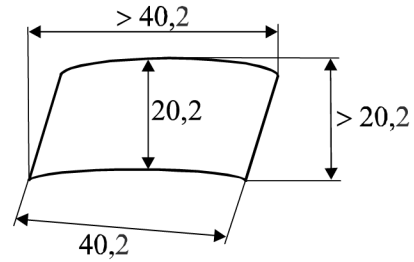
Tolerierung von Lochabständen. Umsetzung verschiedener Prinzipien



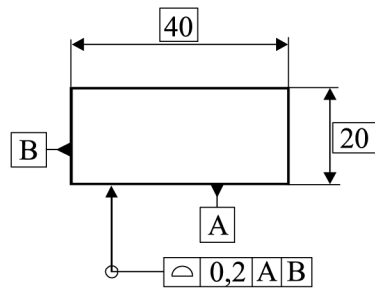
unzweckmäßige Bemaßung



mögliche Bauteilgeometrie



zweckmäßige Bemaßung



Toleranzraum

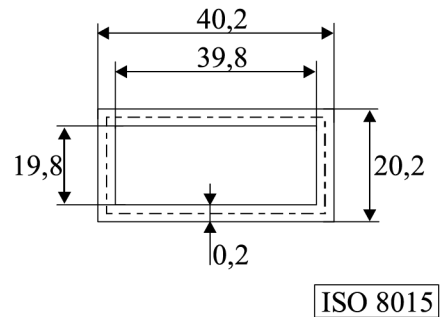
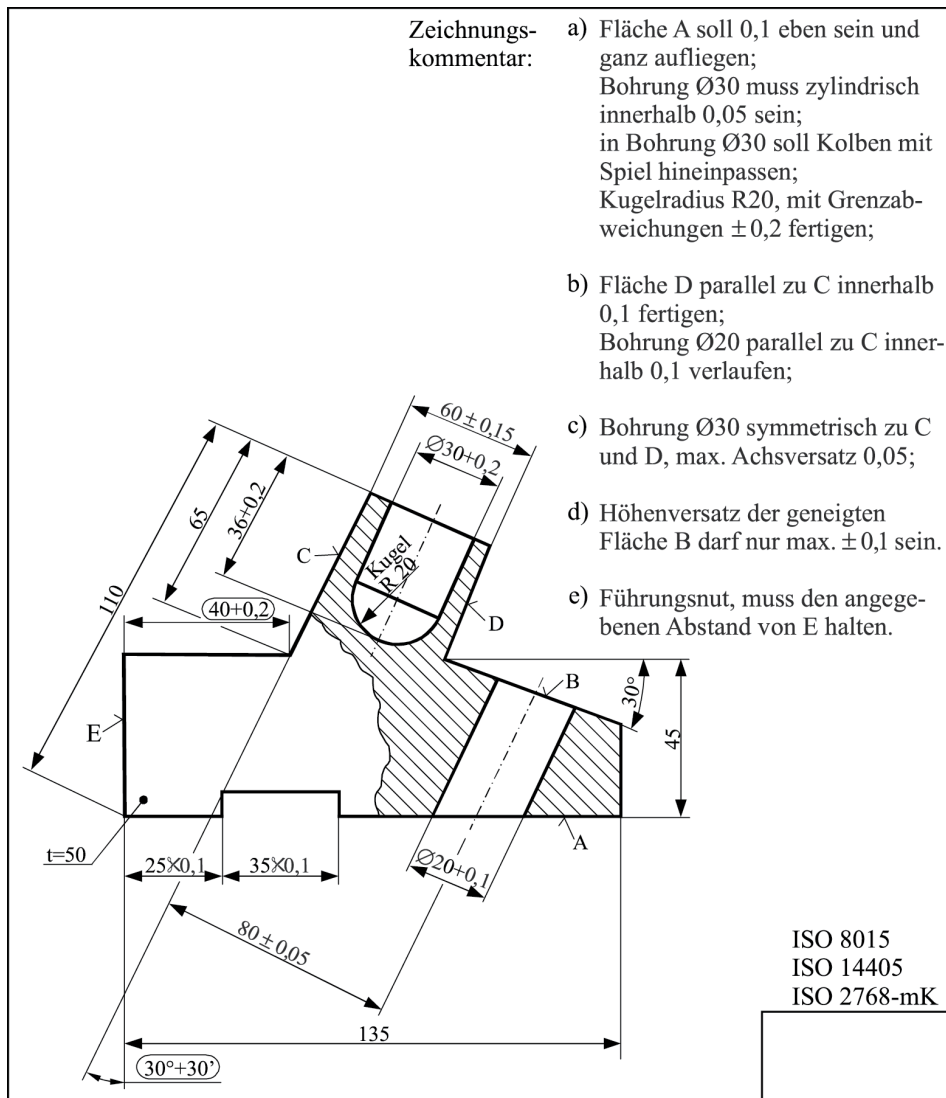
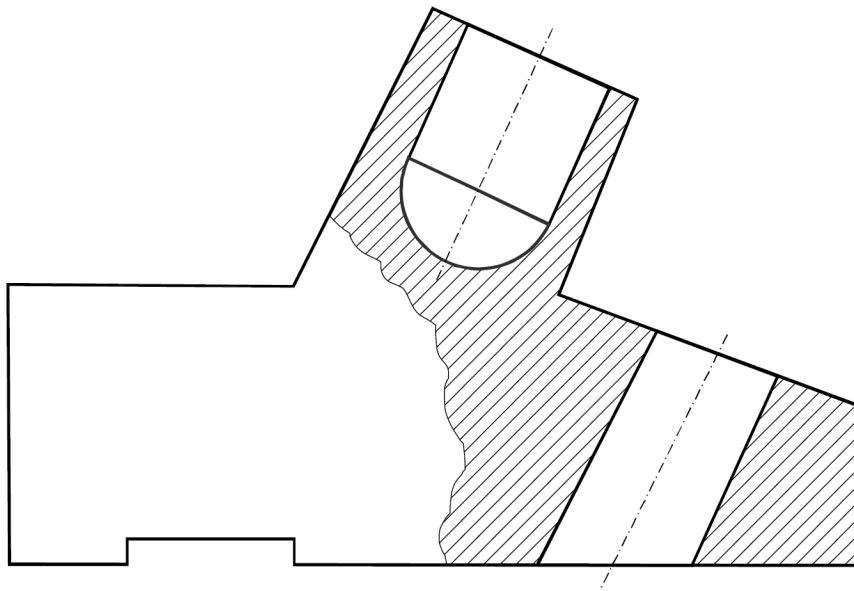


Abb. 21.2: Ersatz einer Plus/Minus-Tolerierung durch eine Flächenformtolerierung



Fallbeispiel 4 (Fortsetzung)

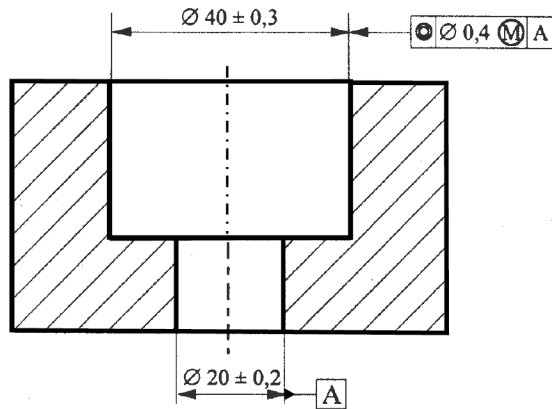


ISO 8015
ISO 14405
ISO 2768-mK

Halterung

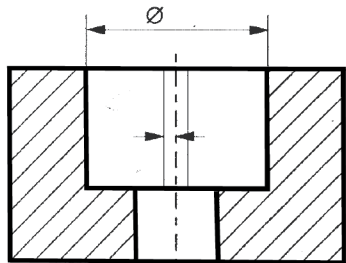
Fallbeispiel 4

Situation 1: Geometrieelement mit Maximum-Material-Bedingung



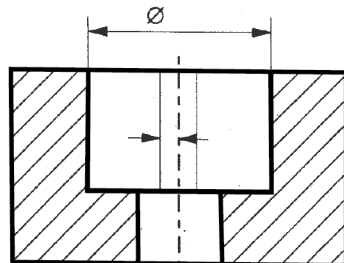
Aussage:
Die Koaxialitätstoleranz gilt beim Maximum-Material-Maß. Die Koaxialität kann vergrößert werden, wenn die Bohrung sich zum Minimum-Material-Maß hinbewegt.

Fall 1: Maximumsituation



Koax. Tol. =
Koax. Abw. =

Fall 2: Minimumsituation

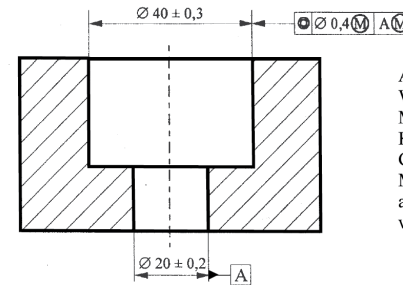


Koax. Tol. =
Koax. Abw. =

Fallbeispiel 5 (Fortsetzung)

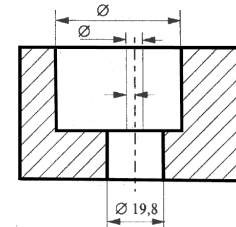
Fallbeispiel 5

Situation 2: Geometricelement und Bezug mit Maximum-Material-Bedingung

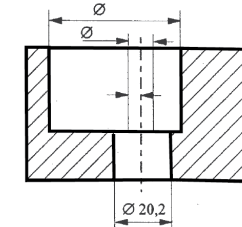


Aussage:
Wenn beide Bohrungen Maximal-Material-Maß haben, darf die Koaxialitätstoleranz nur 0,4 sein. Im Grenzfall von Minimum-Material-Maß kann die Koaxialtoleranz um alle mitwirkenden Toleranzen erweitert werden.

Fall 1: Maximumsituation



Fall 2: Minimumsituation



$$\begin{aligned} \text{max. Koaxial. Abw.} &= \frac{\text{Koaxial. Tol.}}{2} + \frac{\text{Maßtol. } \varnothing 40}{2} + \frac{\text{Maßtol. } \varnothing 20}{2} \\ &= \quad + \quad + \quad = \end{aligned}$$

Stecklehre: Auslegung der beiden Durchmesser einer einfachen gestuften Lehre mit maximal zulässiger Koaxialitätstoleranz:

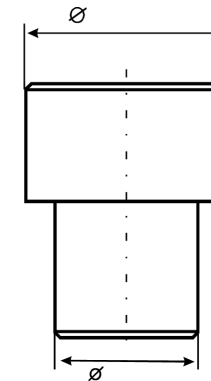


Abb. 21.3: Paarungsfall Kolben/ Führung mit Maximum-Material-Bedingung

Kolben:

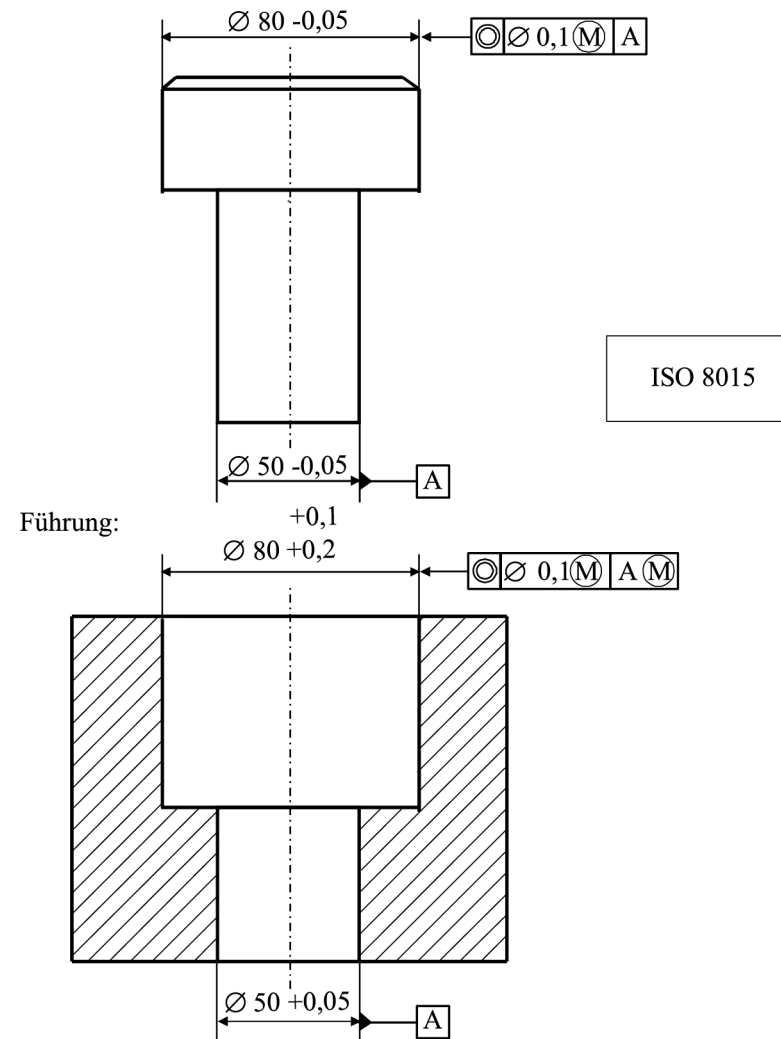
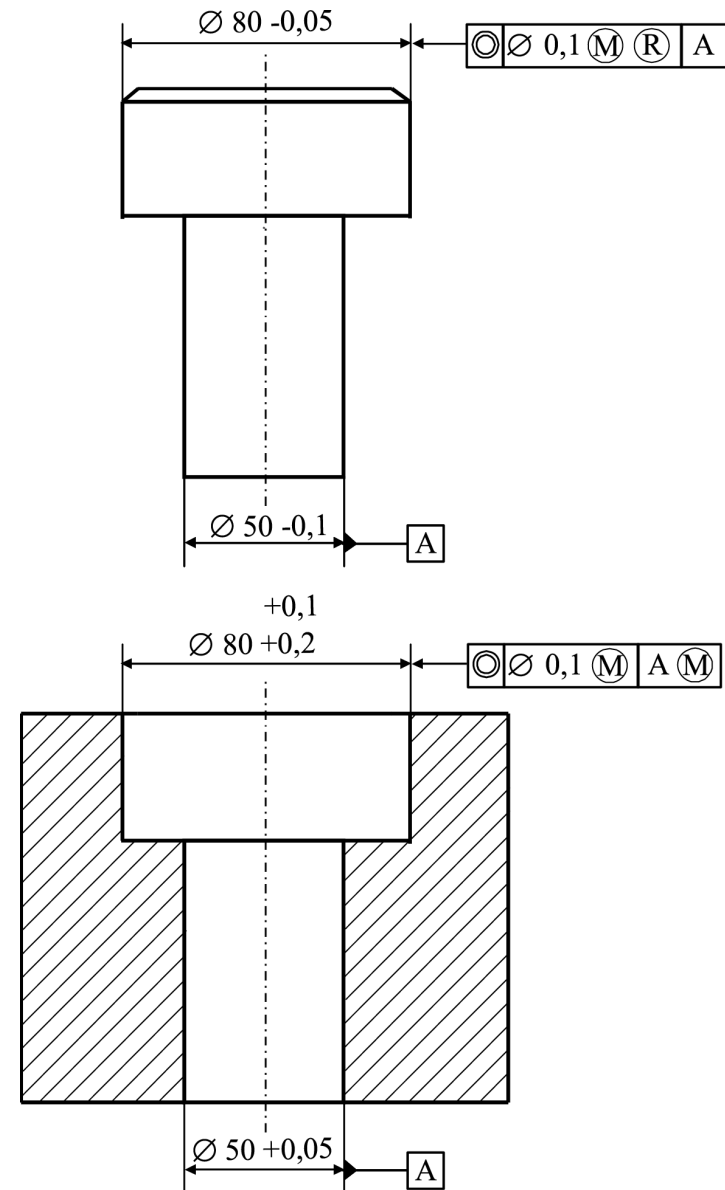


Abb. 21.4: Paarungsfall mit Zusammenwirken von zwei Kompensationsprinzipien



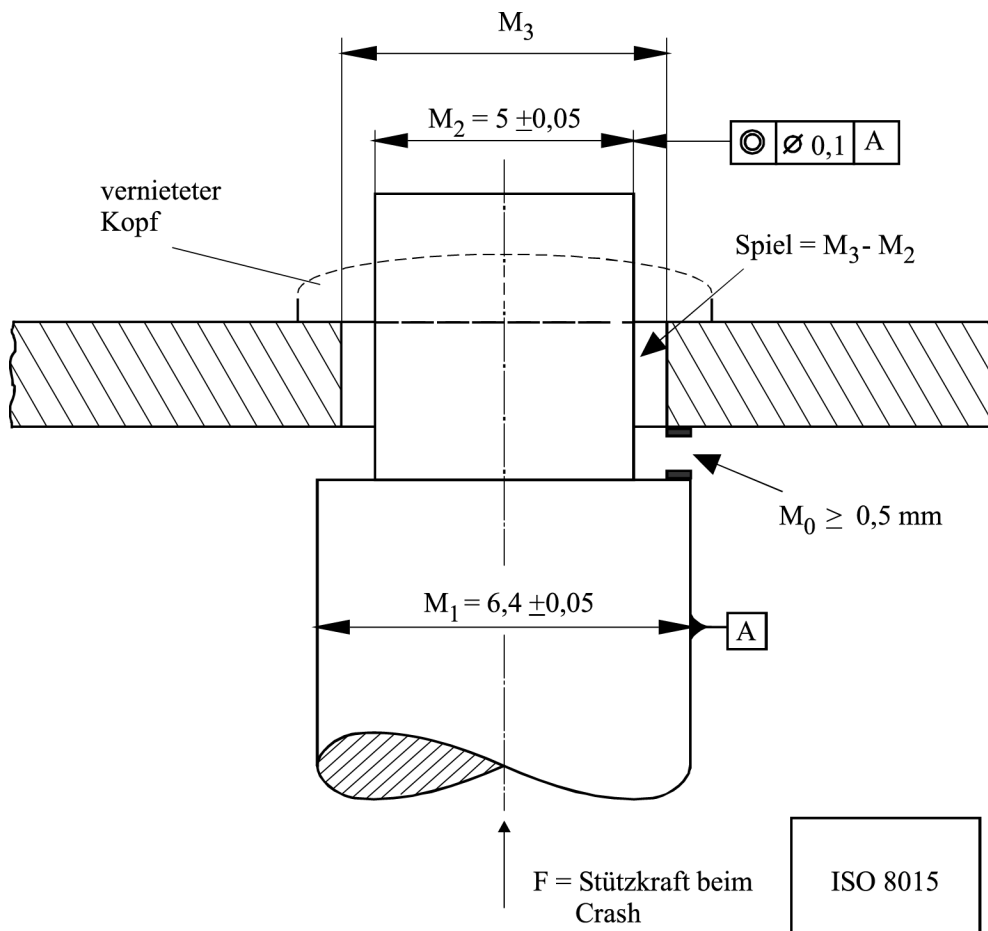
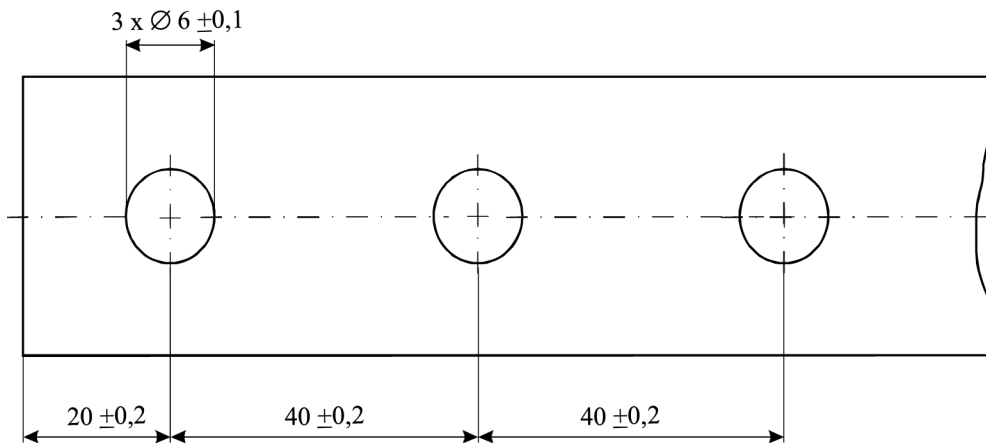
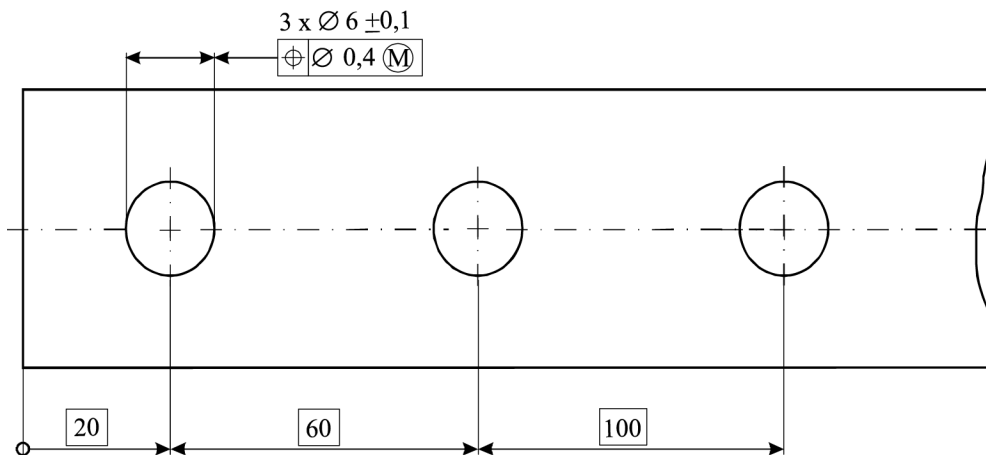


Abb. 21.5: Situation einer „vertaumelten“ Zuhaltesperre

Situation 1: Angabe nach der alten Normung



Situation 2: Übertragung der Vermaßung auf neue Normung für die Positionstolerierung (ISO 5458)



Fallbeispiel 7

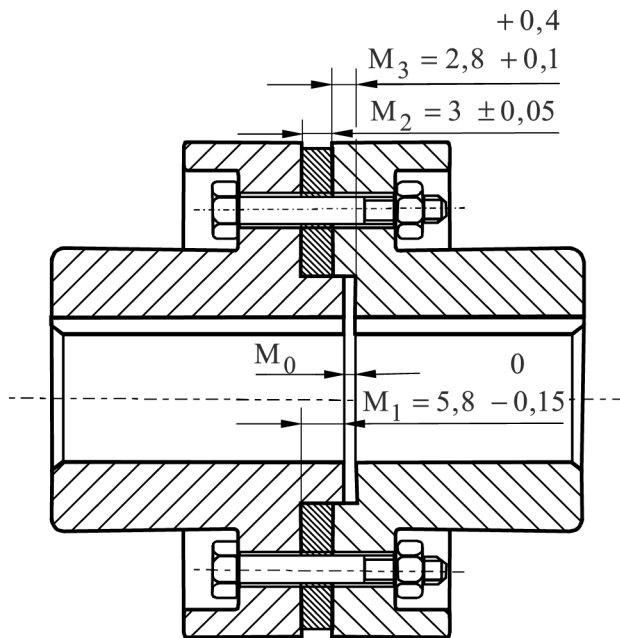


Abb. 21.6: Starre Scheibenkupplung

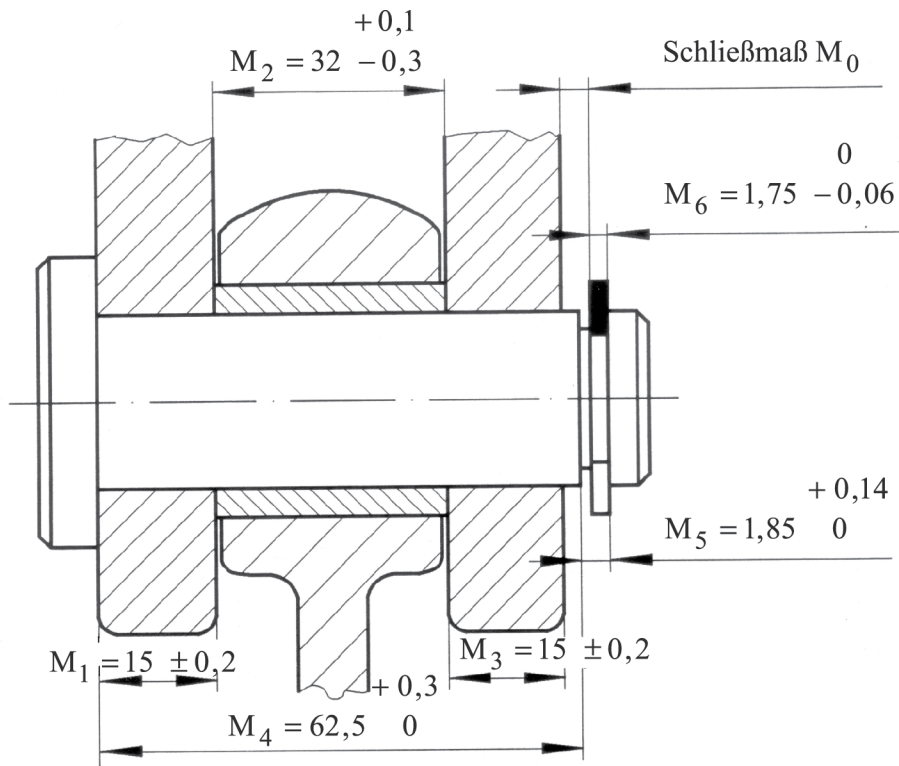


Abb. 21.7: Schwenkgelenk im Roboterarm

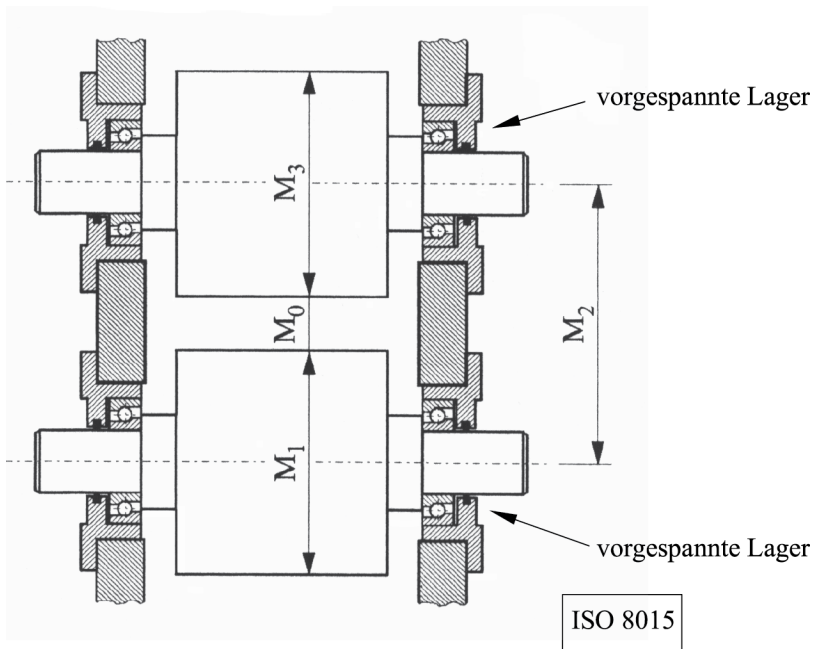


Abb. 21.8: Montagesituation Kalendarwalzstufen

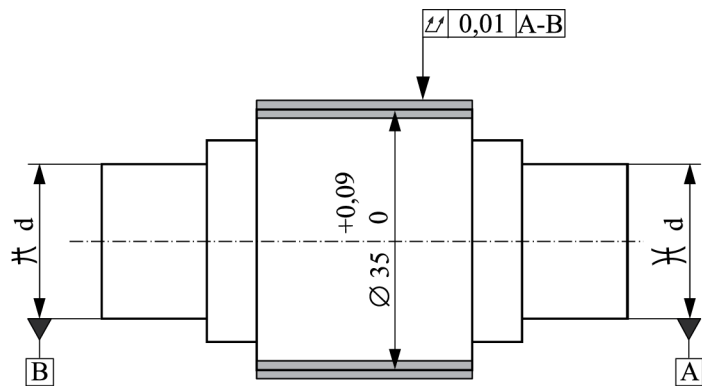
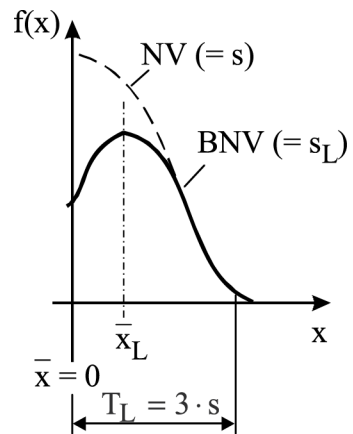


Abb. 21.9: Vermaßte Welle mit „Toleranzzone“



$$\mu_L = \frac{3 \cdot T_L}{3\sqrt{2\pi}}$$

$$s_L = \sqrt{\left(1 - \frac{2}{\pi}\right) \cdot \frac{T_L}{3}}$$

Abb. 21.10: Betrachtungsverteilung zur Berücksichtigung der Gesamtlauftoleranz