



Leseprobe

Walter Jorden, Wolfgang Schütte

Form- und Lagetoleranzen

Handbuch für Studium und Praxis

ISBN (Buch): 978-3-446-44626-7

ISBN (E-Book): 978-3-446-44854-4

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44626-7>

sowie im Buchhandel.

Inhalt

Vorwort	9
Zeichen und Abkürzungen	11
1 Grundlagen des Tolerierens	13
1.1 Probleme bei der technischen Darstellung von Bauteilen	13
1.2 Einflussgrößen auf die Toleranzfestlegung	17
1.2.1 Gestaltabweichungen und ihre Grenzen	17
1.2.2 Aufgaben und Bedingungen für Toleranzen	20
1.3 Maßtoleranzen und Passungen	23
1.3.1 Maßbegriffe	23
1.3.2 Besondere Maßarten	26
1.3.3 ISO-Maßtoleranzsystem	31
1.3.4 Passungen	35
1.4 Tolerierungsgrundsatz	38
1.4.1 Einführung	38
1.4.2 Unabhängigkeitsprinzip	40
1.4.3 Hüllbedingung beim Unabhängigkeitsprinzip	44
1.4.4 Hüllprinzip als Tolerierungsgrundsatz	48
1.4.5 Anwendung der Tolerierungsgrundsätze	55
1.5 Aufbau der Form- und Lagetolerierung	58
1.5.1 Grundbegriffe	58
1.5.2 Formtolerierung am Beispiel „gerade Kante“	60
1.5.3 Lagetolerierung am Beispiel „parallele Kanten“	61
1.5.4 Zusammenhang zwischen Maß- und Lagetolerierung	65
1.6 Zeichnungseintragung	66
1.6.1 Toleriertes Element	66
1.6.2 Bezugselement	75

2	Toleranzarten und Bezüge	80
2.1	Überblick	80
2.2	Formtoleranzen	82
2.2.1	Übersicht	82
2.2.2	Geradheit	84
2.2.3	Ebenheit	91
2.2.4	Rundheit (Kreisform)	92
2.2.5	Zylindrizität (Zylinderform)	95
2.3	Bezüge und Bezugssysteme	97
2.3.1	Grundlagen und Übersicht	97
2.3.2	Bezüge aus wirklichen Geraden oder Ebenen	98
2.3.3	Achsen oder Mittelebenen als Bezüge	102
2.3.4	Bezugssysteme	111
2.4	Profiltoleranzen	121
2.4.1	Übersicht	121
2.4.2	Linienprofil	122
2.4.3	Flächenprofil	126
2.5	Richtungstoleranzen	128
2.5.1	Übersicht	128
2.5.2	Parallelität	130
2.5.3	Rechtwinkligkeit	137
2.5.4	Neigung	137
2.6	Ortstoleranzen	140
2.6.1	Übersicht	140
2.6.2	Position	142
2.6.3	Koaxialität und Konzentrizität	147
2.6.4	Symmetrie	150
2.7	Lauftoleranzen	153
2.7.1	Übersicht	153
2.7.2	Einfacher Lauf	154
2.7.3	Gesamtlauf	159
3	Allgemeintoleranzen	162
3.1	Grundlagen	162
3.2	Allgemeintoleranzen nach ISO 2768	166
3.2.1	Übersicht	166
3.2.2	Maß- und Winkeltoleranzen	167
3.2.3	Form- und Lagetoleranzen	169

3.3	Allgemeintoleranzen für verschiedene Fertigungsverfahren	176
3.3.1	Übersicht und Lücken	176
3.3.2	Einzelne Fertigungsverfahren	178
3.3.3	Ermittlung von Rohteilnennmaßen	183
3.3.4	Allgemeintolerierung mit Profiltoleranzen	186
4	Toleranzverknüpfungen	189
4.1	Übersicht	189
4.2	Maßketten	190
4.2.1	Arithmetische Tolerierung	190
4.2.2	Grundlagen des statistischen Tolerierens	193
4.2.3	Vorgehensweise zum überschlägigen statistischen Tolerieren	198
4.3	Form- und Lagetoleranzen in Maßketten	203
4.3.1	Einführung	203
4.3.2	Grenzgestalten von Geometrieelementen	207
4.3.3	Beispiele für die Verkettung von Grenzgestalten	214
4.4	Maximum-Material-Bedingung	220
4.4.1	Einführung	220
4.4.2	Eingrenzung der Anwendung	223
4.4.3	Vorgehensweise zur Toleranzuntersuchung	225
4.4.4	Festlegung von Funktionslehren	228
4.5	Minimum-Material-Bedingung	238
4.5.1	Einführung	238
4.5.2	Anwendung	239
4.6	Verknüpfung mit Oberflächenkennwerten	241
5	Praktische Anwendung der Tolerierung	244
5.1	Vorgehensweisen zur Form- und Lagetolerierung	244
5.1.1	Interpretation von eingetragenen Toleranzen	244
5.1.2	Methodik zur Form- und Lagetolerierung	247
5.2	Toleranzen und Kosten	252
5.2.1	Übersicht	252
5.2.2	Kostensprünge	254
5.3	Leitregeln zum toleranzgerechten Gestalten	258
5.3.1	Zum Aufbau von Bemaßung und Tolerierung	258
5.3.2	Zur Wirtschaftlichkeit der Tolerierung	264
5.3.3	Zum Qualitätsmanagement	272

5.4	Anwendungsbeispiele aus der Praxis	276
5.4.1	Werkstücke mit relativ einfacher Nenngeometrie	276
5.4.2	Beispiele für komplizierter geformte Werkstücke	284
6	Unterschiede der ASME-Normung gegenüber ISO	293
	Literaturverzeichnis	300
	Sachwortregister	302

Vorwort

Eine technische Zeichnung muss ein Werkstück *vollständig* und *eindeutig* beschreiben. Wenn wir diese einfache Aussage wirklich ernst nehmen, dann geht jedoch der dafür notwendige Aufwand schnell ins Uferlose. Das zeigt sich an der Flut von neuen Normen, die in den letzten Jahren unter dem Oberbegriff „Geometrische Produktspezifikation“ erschienen sind. Und nicht nur ihre Zahl macht es dem Anwender schwer, Übersicht zu gewinnen bzw. zu behalten. Hinzu kommt eine Menge von neuen Begriffen, die im Zuge der internationalen Vereinheitlichung oder Angleichung darin auftauchen.

Eine Neuauflage dieses Buches wird daher für uns Verfasser zunehmend zu einer Gratwanderung. Wie bisher bemühen wir uns, Ihnen zu zeigen, dass Maße und Maßtoleranzen allein niemals ausreichend sein können, ferner wie die notwendige Form- und Lagetolerierung aufgebaut ist, wie sie eingetragen wird und was sie bedeutet, und zwar so klar und einfach wie irgend möglich. Natürlich beruht die Neuauflage auf dem aktuellen Stand der Normung. Dabei ist es jedoch nicht möglich, den Inhalt aller Normen vollständig darzustellen. Teilweise wurden Änderungen sogar bei einer erneuten Neuausgabe wieder rückgängig gemacht. Auch stoßen wir immer wieder auf ungewohnte neue Bezeichnungen, die teilweise sperrig und wenig einleuchtend sind. Wir führen sie zwar auf, mussten uns aber von Fall zu Fall entscheiden, ob wir nicht besser die bisher gewohnten, bekannten und griffigen Namen beibehalten.

Nach wie vor liegt das Grundproblem darin, dass wir Werkstücke mit Maßen und Maßtoleranzen allein nicht hinreichend *vollständig* und *eindeutig* beschreiben können. Diese Tatsache ist häufig ebenso unbekannt wie ihre Folgen. Auch heute noch sind viele Zeichnungen aufgrund unzureichender Form- und Lagetolerierung unvollständig und somit als Grundlage für Fertigung und Qualitätsprüfung unbrauchbar.

Das vorliegende Buch bietet Ingenieuren, Technikern und Zeichnern, Auszubildenden, Studierenden und Lehrenden eine systematische Einführung und fundierte Hilfen. Ohne die wissenschaftliche Exaktheit zu verlassen, haben wir Theorie und Formeln auf ein notwendiges Mindestmaß beschränkt, um das Buch anschaulich, verständlich und übersichtlich zu halten.

Kap. 1 enthält die wesentlichen *Grundlagen*; an seinem Beginn finden Sie, wie bei allen Hauptkapiteln, weitere Hinweise zum Inhalt. In Kap. 2 werden die verschiedenen *Toleranzarten* und ihre Anwendung betrachtet einschließlich der Bildung von *Bezugssystemen*, auf denen die Lagetolerierung aufbaut. Kap. 3 beschäftigt sich mit *Allgemeintoleranzen*, die für alle nicht einzeln tolerierten Elemente gelten, vorwiegend unter dem Gesichtspunkt der Form- und Lagetolerierung. Kap. 4 beleuchtet die teilweise recht unübersichtlichen

Verknüpfungen zwischen mehreren Toleranzen und Toleranzarten; wesentlich sind hier die Nutzung der Toleranzstatistik ohne großen mathematischen Aufwand und die für die Praxis wichtige Maximum-Material-Bedingung. Zusammenfassend bietet Kap. 5 Vorgehensweisen, Leitregeln und Beispiele für die praktische *Anwendung* der Form- und Lage-tolerierung; dabei werden die Kosten und die betriebliche Zusammenarbeit einbezogen.

Damit Ihnen das Lesen und Blättern auch ein wenig Spaß macht, haben wir uns um einen trotz präziser Ausdrucksweise lockeren Sprachstil bemüht, verwenden das Wörtchen „wir“ für unsere persönlichen Ansichten, setzen über jeden Absatz eine Absatzüberschrift und bieten Ihnen (eingeklammert) zahlreiche Querverweise an.

Hofbieber und Anröchte, im November 2016

Walter Jorden und Wolfgang Schütte

1-60 Gemeinsamer Bezug: Wenn ein Bezug aus mehreren *gleichberechtigten* Bezugselementen zu bilden ist, so wird in der Regel jedes einzelne Bezugselement mit einem Bezugsdreieck und einem eigenem Buchstaben gekennzeichnet (z. B. A und B). Der gemeinsame Bezug heißt dann (z. B.) A-B.

Gleichberechtigte Bezugselemente sind in der Regel von *gleicher Art und Richtung*. Der Bindestrich bei A-B *verbindet* sie zu *einem* Bezug. Dieser heißt nicht AB (so hieß er früher einmal, nach der alten DIN 7184) und auf keinen Fall $\boxed{A \mid B}$ (das wäre ein Bezugssystem, aus getrennten, nicht gleichberechtigten Bezugselementen, s. Kap. 2.3.4).

Gemeinsame Achse: Wenn Sie statt der Darstellung in Bild 1.40a das Bezugsdreieck direkt auf die Achse setzen (b), dann hat das auf den ersten Blick scheinbar dieselbe Bedeutung. Bei der Prüfung bleibt im Fall b jedoch ganz unklar, wie die Achse zu bilden ist, d. h., ob die Welle zwischen Spitzen, in den Lagerstellen oder im Wellenabschnitt $\varnothing 30$ aufzunehmen ist. Im Gegensatz zu c ist bei d nicht ersichtlich, ob auf der linken Seite die größere oder die kleinere Bohrung als Bezugselement heranzuziehen ist. Selbst wenn dort nur ein einziger Durchmesser vorliegt (e), ist diese Darstellung unsicher, denn bei der nächsten Zeichnungsänderung könnte jemand eine Senkung wie bei d hinzufügen, ohne an die Bezugsachse A zu denken.

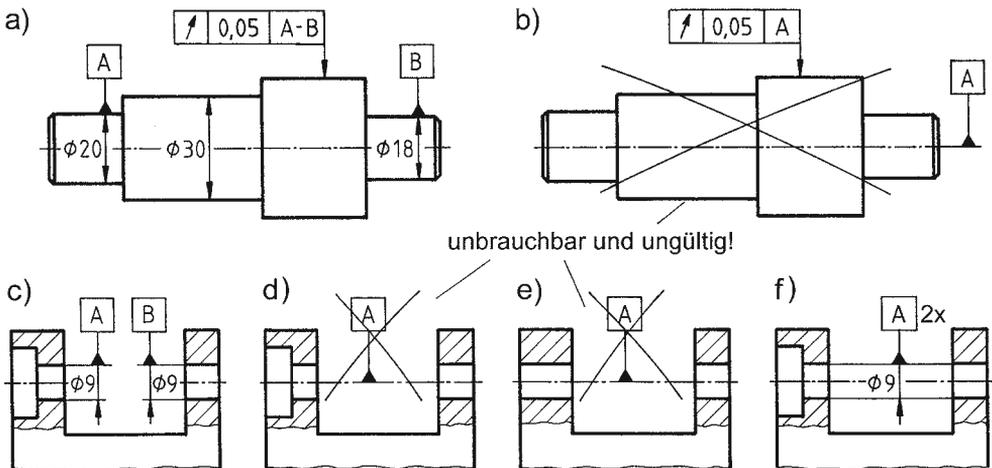


Bild 1.40: Gemeinsame Achse von zwei Lagersitzen. a) Wellenabsätze, b) unklare Angabe dazu (nicht mehr gültig); c) Bohrungen, d) unklare Angabe dazu; e) zweifelhafte Angabe (d und e nicht mehr gültig); f) brauchbare Version

Daher sind diese Darstellungen nicht mehr gültig; ein Bezugsdreieck gehört grundsätzlich nicht auf eine Achse oder Mittellinie. (Eine Ausnahme gibt es beim RPS-System, s. Kap. 2.3.4, Bild 2.27 c bis e). Erlaubt ist dagegen die Variante f, bei der die Maßhilfslinien durchgezogen sind, allerdings nur, wenn das Bezugsdreieck *zwischen zwei* beteiligten Elementen steht und der Zusatz 2× rechts neben dem Bezugssymbol steht. Voraussetzung dafür ist, dass die beiden Bezugs-elemente denselben Nenndurchmesser haben. Die Angabe des ge-

meinsamen Bezuges im Toleranzrahmen erfolgt dann grundsätzlich durch die doppelte Verwendung des Bezugsbuchstaben, getrennt durch einen Bindestrich (z. B. A-A).

Anmerkung: Bei der Tolerierung einer gemeinsamen Achse ist zusätzlich für die hinreichende Fluchtung (Koaxialität) der Bezugselemente zu sorgen; Näheres s. Kap. 2.3.3, Bild 2.22.

Bezug aus mehreren ebenen Bezugsflächen: Häufig ist eine Bezugsebene aus mehreren einzelnen Flächen zu bilden, z. B. eine gemeinsame Auflagefläche aus zwei oder mehreren Fußflächen. In der Zeichnung lässt sich das auf verschiedene Weise eintragen, *Bild 1.41*:

- *Einzelne Kennbuchstaben* für jede Einzelfläche (a), entsprechend Regel 1-60.
- *Kennbuchstabe auf einer Maßhilfslinie:* Diese Darstellung (b) findet man in der Praxis häufig. Sie ist aber nicht zu empfehlen, da sie nicht eindeutig ist. In diesem Fall muss man zumindest die Anzahl der Bezugsflächen vermerken, Bild 1.41 c (nach ISO 5459).
- *Bemaßte Einzelflächen* mit dicker Strichpunktlinie und Einzelbuchstaben (d), entsprechend Bild 1.35 c für eine eingeschränkte Toleranzzone.
- *Bezugsstellenangabe* (s. u., Bild 1.42).

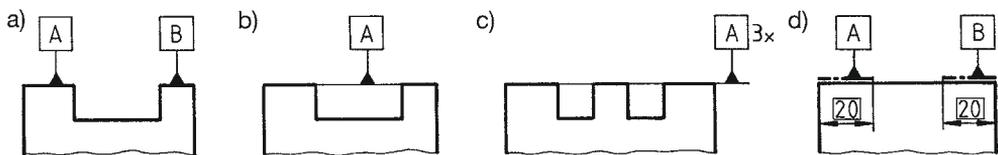


Bild 1.41: Gemeinsamer Bezug aus mehreren ebenen Flächen. a) zwei gesondert bezeichnete Bezugselemente, b) nicht eindeutige Kennzeichnung, c) drei Bezugselemente mit korrekter Kennzeichnung der Anzahl der Bezugselemente, d) einzelne bemaßte Teilflächen

Bezug aus mehreren Löchern: Ein gemeinsamer Bezug kann auch aus mehreren gleichberechtigten Bohrungen o. Ä. gebildet werden, die zusammen ein Lochbild darstellen. Sie können mit einem einzigen Bezugsbuchstaben angegeben werden (s. Bild 4.30 c und Bild 4.31, Kap. 4.4.4).

Bezugsstellen: Es kann zweckmäßig sein, ein größeres Bezugselement, z. B. eine Bezugsebene, nicht ganzflächig auf dem Gegelement (dem Hilfsbezugselement) aufliegen zu lassen, sondern nur an einzelnen Stellen, die funktions- bzw. fertigungswichtig sind. Das ist beim Bau von Fertigungs- und Prüflern üblich, z. B. für rohe Schmiedeflächen oder Blechflächen. Dazu dient ein Bezugsstellenrahmen nach ISO 5459, s. Bild 1.42:

1-61 Bezugsstellenangabe: Die einzelne Bezugsstelle wird – zusätzlich zur Bezugsangabe mit Bezugsdreieck und Bezugsbuchstabe nach den Regeln 1-58 und 1-59 – durch einen quergeteilten Kreisrahmen mit einem Hinweispfeil bezeichnet. Im *unteren* Feld steht der Kennbuchstabe des Bezugs und eine fortlaufende Nummerierung der Bezugsstellen dieses Bezugs. Im *oberen* Feld *kann* die Gestalt und die Größe der Auflagefläche eingetragen werden.

Die Auflage auf dem Hilfsbezugselement kann verschieden sein, Bild 1.42:

- Flächig* (z. B. auf der Stirnseite eines Stifts), eingezeichnet mit einer schraffierten Fläche, die von einer schmalen Strich-Zweipunkt-Linie umrandet ist;
- linienförmig* (z. B. an einer Zylinderrolle oder an einer gerundeten Kante), dargestellt durch eine Strich-Zweipunkt-Linie, jeweils zwischen zwei Kreuzen;
- punktförmig* (z. B. an einer Kugel oder einem Pilz), gezeichnet als Kreuz.

Bei b und c entfällt die Angabe im oberen Teil des Bezugsrahmens, weil (theoretisch) keine Auflagefläche vorhanden ist. Auflagestellen mit Flächenberührung (a) sind dort notwendig, wo größere Kräfte (z. B. Spann- oder Zerspanungskräfte) zu übertragen sind.

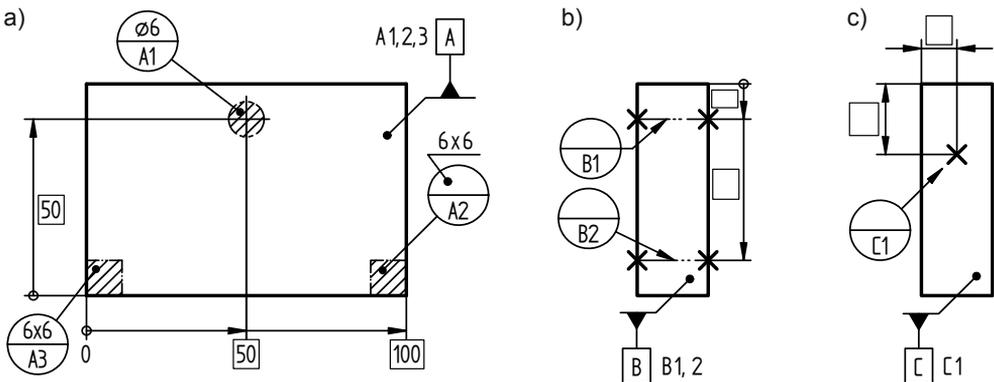


Bild 1.42: Möglichkeiten zur Bezugsstellenangabe. a) Flächenauflage an 3 Bezugsstellen, b) Linienauflage an 2 Linien, c) Punktauflage an 1 Punkt

Die Lage der Bezugsstellen wird bemaßt, und zwar mit *theoretischen Maßen*, wie in Bild 1.42 a. Falls es die Übersichtlichkeit erfordert, können Bezugsstellen auch mehrfach in verschiedenen Ansichten und Schnitten eingetragen werden.

Die Bezugsstellenrahmen ersetzen keinesfalls die übliche Bezugsangabe mit Bezugsdreiecken und Bezugsbuchstaben im quadratischen Rahmen, sondern ergänzen sie; Letztere bilden immer die Grundlage zur Orientierung in einer Zeichnung mit Lagetoleranzen. (Auch sie können ggf. in mehreren Schnitten oder Ansichten eingetragen werden.) ISO 5459 vermerkt neben dem Bezugsrahmen die Benennung und die Zahl der Bezugsstellen. In Bild 1.42 wird der Bezug A gebildet aus A 1, 2, 3, ebenso B aus B 1, 2 und C nur aus C 1. Das macht die Zeichnung übersichtlicher und sollte immer so ausgeführt werden. Wenn es nur eine Bezugsstelle für einen Bezug gibt, erlaubt ISO 5459 auch die vereinfachte Kennzeichnung der Bezugsstelle durch ein Bezugsdreieck auf einer Hinweislinie zur Bezugsstelle oder entsprechend Bild 1.41 d direkt auf die Bezugsstelle (Dort sind es allerdings zwei Bezugsstellen).

Bilden von Bezügen: Die obigen Erläuterungen betreffen vorwiegend die zeichnerische Darstellung. Die Bildung von Bezügen und Bezugssystemen wird eingehend in Kap. 2.3 behandelt.

2 Toleranzarten und Bezüge

***Für Leserinnen und Leser:** Dieses Kapitel betrachtet die einzelnen Arten von Form- und Lagetoleranzen in systematischer Weise, unterstützt durch Leitregeln und garniert mit Beispielen. Dem kurzen Überblick in Kap. 2.1 folgen zunächst in Kap. 2.2 die Formtoleranzen, die die Gestalt von einzelnen Geometrieelementen eingrenzen. Zu einer Lagetolerierung dagegen gehören mindestens zwei Geometrieelemente. Das wichtige Kap. 2.3 erläutert Ihnen, wie aus bestimmten Flächen bzw. Bezugselementen am Werkstück Bezüge und Bezugssysteme gebildet werden, auf denen die Lagetolerierung und ihre Prüfung aufbauen. Kap. 2.4 beschäftigt sich mit Profiltoleranzen, die als Zwitter sowohl Form- als auch Lagetoleranzen sein können. In den Kap. 2.5 bis 2.7 werden dann die Lagetoleranzen in den drei großen Gruppen der Richtungs-, Orts- und Lauftoleranzen beleuchtet. Weil viele Fakten untereinander zusammenhängen, wimmelt es im ganzen Kap. 2 von Querverweisen. Wir haben sie in Klammern gesetzt, um die Lesbarkeit nicht zu sehr zu stören. Daher können Sie die Klammern einfach überlesen und brauchen nur dann zu blättern, wenn Sie speziell zu dem betreffenden Punkt weitere Informationen suchen.*

2.1 Überblick

Gruppen: ISO 1101 enthält 14 Toleranzarten, *Tabelle 2.1*. Sie gliedern sich in zwei große Gruppen: *Formtoleranzen* beziehen sich auf ein *einzelnes* Geometrieelement. Von einer *Lage* aber kann man nur sprechen, wenn mindestens *zwei* Geometrieelemente beteiligt sind. Daher *bezieht* sich in der Regel die Lage des tolerierten Elements auf das *Bezugselement*; man spricht hier auch von *bezogenen* Toleranzen.

Profiltoleranzen können jedoch entweder als reine Formtoleranzen auftreten oder mit Bezugselementen, d. h. als Lagetoleranzen. DIN EN ISO 1101:2006 führt sie daher dreimal auf, jeweils unter Form-, Richtungs- und Ortstoleranzen. Der Übersichtlichkeit halber belassen wir sie aber als eigene Gruppe.

Die Untergliederung der Formtoleranzen in „*flache*“ und „*runde*“ steht nicht in der Norm. Wir halten sie aber für zweckmäßig, weil diese Gruppen stark unterschiedliche Merkmale aufweisen (s. u.).

Tabelle 2.1: Übersicht der Form- und Lagetoleranzarten

Art	Gruppe	Symbol	Bezeichnung	Zeichen für		Toleranzzone	Tolerierte Geometrielemente
				Tol.	Abw.		
Formtoleranzen	„Flach“		Geradheit	t_G	f_G	Geradlinig ¹⁾	Alle (d. h. sowohl wirkliche als auch abgeleitete)
			Ebenheit	t_E	f_E	Zwischen 2 Ebenen (geradlinig)	
	„Rund“		Rundheit (Kreisform)	t_K	f_K	Zwischen 2 Kreisen (ringförmig)	Fast nur wirkliche
			Zylindrizität (Zylinderform)	t_Z	f_Z	(ringförmig)	
Profiltol.	Profiltoleranzen		Profil einer beliebigen Linie	t_{LP}	f_{LP}	Beliebig; mittig (\pm) zum idealen Profil	Meist wirkliche
			Profil einer beliebigen Fläche	t_{FP}	f_{FP}		
Lagetoleranzen	Richtungstoleranzen		Parallelität	t_P	f_P	Geradlinig ¹⁾ ; nur Richtung festgelegt; „Flachform“ implizit enthalten (meist)	Alle
			Rechtwinkligkeit	t_R	f_R		
			Neigung	t_N	f_N		
	Orts- toleranzen		Position	t_{PS}	f_{PS}	Meist geradlinig ¹⁾ ; symmetrisch (\pm) zum idealen Ort ²⁾ ; Richtung und „Flachform“ implizit enthalten (meist)	Alle
			Koaxialität/ Konzentrität	t_{KO}	f_{KO}		Meist Achsen (auch der Bezug)
			Symmetrie	t_S	f_S		Meist abgeleitete
	Lauf- toleranzen		Lauf (Rund-, Plan-, allg. Lauf)	t_L	f_L	Ringförmig	Nur wirkliche (Bezug: nur Achsen)
			Gesamtlauf (Rund-, Plan-)	t_{LG}	f_{LG}		

¹⁾ Zwischen 2 Ebenen bzw. 2 Geraden oder röhrenförmig ²⁾ Grenzabweichung = \pm halbe Toleranz!

Toleranzzonen: Die Toleranzzonen der verschiedenen Toleranzarten haben generell die ideale Gestalt des tolerierten Geometrieelements. Letzteres muss vollständig in der Toleranzzone liegen (s. Kap. 1.5.1). Von ihrer Gestalt her dominieren zwei verschiedene Arten von Toleranzzonen:

- *Geradlinige* Toleranzzonen sind entweder von zwei Ebenen (im Grenzfall zwei Geraden) oder von einem Kreiszyylinder („Röhrchen“) begrenzt. Sie kommen vor bei den „flachen“ Formtoleranzen, bei Richtungs- und bei Ortstoleranzen. Tolerierte Geometrielemente sind daher Geraden (wirkliche Geraden sowie Achsen) und Ebenen (ebenfalls wirkliche sowie Mittelebenen).
- *Ringförmige* Toleranzzonen liegen zwischen konzentrischen Kreisen, koaxialen Kreiszyindern u.Ä. Sie treten auf bei „runden“ Formtoleranzen und Lauf-
toleranzen, und

zwar praktisch nur bei wirklichen Geometrieelementen mit (zumindest teilweise) kreisförmigem Querschnitt.

Daher bestehen zwischen den genannten Toleranzgruppen enge Beziehungen. Sie werden in den folgenden Kapiteln erläutert.

Kurzzeichen: Für Form- und Lagetoleranzen verwenden wir den Buchstaben t , für die entsprechenden Abweichungen f . Die einzelnen Toleranzarten werden durch Indizes gemäß Tabelle 2.1 gekennzeichnet. All diese Zeichen sind nicht genormt. Sie stimmen mit dem Beuth-Kommentar über die Prüfung von Form- und Lagetoleranzen [AbBM 90] überein. Da *Maßtoleranzen* aufgrund ihrer Definition den Abstand zweier gegenüberliegender Punkte spezifizieren (vgl. Kap. 1.3), gibt es dort keine von idealen Flächen oder Linien eingegrenzte Toleranzzone, s. Kap. 1.5.4). Daher verwenden wir für Maßtoleranzen den Buchstaben T .

2.2 Formtoleranzen

2.2.1 Übersicht

Toleranzarten: Die Formtoleranzen im vorliegenden Kapitel betreffen nur sog. „einfache“ Geometrieelemente, nämlich *Geraden* und *Ebenen* sowie *Kreise* und *Kreiszyylinder*. Dementsprechend werden folgende Toleranzarten behandelt:

- *Geradheit* (Kap. 2.2.2),
- *Ebenheit* (Kap. 2.2.3),
- *Rundheit* (Kreisform; Kap. 2.2.4),
- *Zylindrizität* (Zylinderform; Kap. 2.2.5).

Die Form anderer Geometrieelemente wird im Rahmen des Systems von ISO 1101 mit *Profiltoleranzen* toleriert, s. Kap. 2.4.

Bedeutung: Eine Formtoleranz (form tolerance) soll dafür sorgen, dass ein Geometrieelement von der gedachten Idealform nur innerhalb bestimmter Grenzen abweichen darf, z.B. dass eine Blechkante, die als Anschlag dient, hinreichend gerade ist oder dass ein Wälzlagersitz hinreichend kreiszylindrisch ist. Solange wir nach dem *Unabhängigkeitsprinzip* (s. Kap. 1.4.2) arbeiten, bedingt die *Maßtoleranz* des Formelements keine Einschränkung von Formabweichungen. Geometrieelemente, deren Funktion eine bestimmte Formgenauigkeit erfordert, müssen daher mit einer entsprechenden Formtoleranzangabe versehen werden. Bei Gültigkeit der *Hüllbedingung* (einzeln eingetragen mittels \textcircled{E} , s. Kap. 1.4.3, oder generell beim *Hüllprinzip*, Kap. 1.4.4) dürfen zwar Formabweichungen den Betrag der Maßtoleranz nicht überschreiten, können ihn aber erreichen. Soweit diese Abweichungen für die Einhaltung der Funktion des Geometrieelements zu groß sind, muss zusätzlich zur Maßtoleranz eine engere Formtoleranz eingetragen werden.

Sachwortregister

Häufig wiederkehrende Begriffe: Einige Begriffe werden bei allen betreffenden Toleranzarten in *Kap. 2* behandelt, das sind:

- Abweichung,
- Bezug,
- Bezugselement,
- einbeschlossene Toleranzarten,
- Grenzabweichung,
- Toleranzzone,
- toleriertes Geometrieelement.

Der Übersichtlichkeit halber sind sie im Sachwortverzeichnis nur dort aufgeführt, wo sie *zusätzlich* vorkommen oder wo besonders *wesentliche* Informationen dazu stehen.

A

Abgeleitetes Geometrieelement 59, 68,
224, 239
Abmaß 25
Abstandsmaß 225
Abweicherlaubnis 273
Abweichung 19
Abweichungen 17
Achse 106
- Bezugs- 102, 106
- Fluchtung 89, 109, 149
- kurz 106, 116, 149, 279
- lang 106, 149, 282
- Schnittpunkt 152
- Tolerierung 68
Achsenkreuz 121, 279, 288
ACS (jeder beliebige Querschnitt) 75
Allgemeintoleranz 15, 58, 162, 248, 266
- Angabe mehrerer Normen 165
- Bezüge 172, 186

- Fertigungsverfahren 162, 176
- mit Flächenprofilltoleranzen 186
- Form- und Lagetoleranzen 169
- Lücken 166, 178, 284
- Maß- und Winkeltoleranzen 167
- Verbindlichkeit 165
Angsttoleranz 253, 274
Anpassen 269
arithmetische Tolerierung 190, 274
ASME Y 14.5 M 293
Ausgleichsgerade 100, 108
Ausgleichskreis 106
Aussuchen 269

B

Baugruppen 261
Bearbeitungszugabe 179, 183
begrenzte Toleranzzone 69, 298
Bezug 63, 75, 97, 245, 248
- Verlängerung 150

Bezugsbemaßung 66
 Bezugsbuchstabe 75, 235, 291
 Bezugsdreieck 75, 295
 Bezugselement 62, 64, 75, 97, 107, 261
 - Achse 102
 - Bohrung 102
 - durchgehend 262
 - Kegel 104
 - mit Maximum-Material-Bedingung 229, 285, 289
 - mit Minimum-Material-Bedingung 240
 - Mittelebene 103
 - ohne Hüllbedingung 237
 - Parallellflächen 103
 - Tolerierung 97, 104, 107, 120, 187
 - wirkliche Ebene 100
 - wirkliche Gerade 98
 Bezugsstellen 78, 116, 283, 295
 Bezugssystem 111, 132, 233, 261
 - Tolerierung 120
 - vollständiges 112, 127, 187
 Boundary-Bedingung 292, 298

C

CZ (gemeinsame Toleranzzone) 73, 126

D

Default-Regel 65, 100
 Dokumentation 274
 Doppelpassung 266

E

Ebenheitsprüfung 92
 Ebenheitstoleranz 91, 170, 213, 294
 Eigentoleranz 275
 Eindeutigkeit 14, 17, 100, 258
 einfacher Lauf 154
 Einheitsbohrung 38
 Einheitswelle 38
 Einstellen 269
 Einzelmaß in beliebiger Richtung 193
 Einzeltoleranz 189, 198, 203, 219
 erfasstes Geometrieelement 65, 84

F

Fahrzeug-Koordinatensystem 284, 286
 Faltung 196
 Fehler 19
 Fertigmaß 183
 fertigungsgerecht 14, 222, 260
 Fertigungsverfahren 162, 176
 Flächenprofilltoleranz 126, 186
 Flachformtoleranzen 81
 Fluchtung von Achsen 89, 109, 149, 278, 281, 287
 - von Ebenen 153
 Formabweichung 18, 46, 60
 - bei Hüllbedingung 46
 Formelement 58
 Formschräge 183, 289
 Formtoleranz 60, 82, 250
 - einbeschlossen 64
 Freier-Zustand-Bedingung 263
 Funktion 18, 136, 242, 252
 funktionsgerecht 14, 222, 260
 Funktionslehre 222, 226, 228, 285, 289, 292
 funktionswichtige Elemente 164, 248, 258

G

Gaußsches Ausgleichselement 65, 99, 108, 279
 gemeinsame Achse 77, 89, 108
 gemeinsamer Bezug 76, 101
 gemeinsame Mittelebene 111
 gemeinsame Prüfung 236, 286
 gemeinsame Toleranzzone 73, 246, 298
 gemittelte Rautiefe 242
 Geometrieelement 58
 Geometrische Produktspezifikation 241
 Geradheit einer Achse 89
 Geradheitsabweichung 60, 85
 Geradheitstoleranz 60, 84, 170, 211, 227, 294
 Gesamtlauflinien 159
 Gesenkschmiedeteile 180
 Gestaltabweichung 17
 - Entstehung 18
 Gestalt, ideale 17, 228
 Gewindelöcher 279

Gleichdickform 42, 157, 191, 210, 217, 226, 283
 goldene Regel der Messtechnik 265
 Grenzabmaß 25
 Grenzabweichung 21, 61, 83, 143, 246
 Grenzabweichungen 19
 Grenzform 203
 Grenzgestalt 189, 207
 – bei Kreisquerschnitt 209
 – Kreiszyylinder 211
 – mit Hüllbedingung 209
 – Parallelebenen 212
 – Verkettung 214
 Grenzlage 203
 Grenzmaß 25, 293
 Grenzrichtung 204
 Grenzwellenlänge 242
 Grundabmaß 32
 Grundtoleranzgrad 32
 Gussallgemeintoleranz 184
 Gutgrenze 26, 39

H

Häufigkeitsverteilung (s. Verteilung) 194
 Herstellbarkeit: 21
 Hilfsbezugselement 97
 Hilfsmaß 30
 Hüllbedingung 44, 56, 208, 224
 – partielle Aufhebung 52, 294
 – Prüfung 47
 Hülle 44, 49
 Hüllkörper 50
 Hüllprinzip 48, 52, 56, 167, 282, 290, 294

I

Interpretation von Toleranzen 244
 ISO-Maßtoleranzsystem 31
 Istgestalt 17
 Istmaß 25

K

kantenbezogene Tolerierung 145
 Kegel 93, 104, 126, 161, 171
 Kernrautiefe 243

Koaxialitätsabweichung 148, 157, 173
 Koaxialitätstolerierung über Wanddicken-
 differenz 219
 Koaxialitäts- und Konzentritätstoleranz
 50, 147, 182, 216, 230, 240, 296
 konstruktive Fertigungserleichterung 270
 konstruktive Toleranzentfeinerung 266
 konstruktive Versteifung 270
 kontrollierter Radius 293
 Koplanarität 298
 Kosten 252
 Kostensprünge 254, 256
 Kreisform 92
 Kreisquerschnitt 105, 209
 Kreisteilung 121
 kreiszylindrische Toleranzzone 69, 89,
 143, 277
 Kugel 45, 105, 127, 148, 251
 kugelförmige Toleranzzone 69, 147
 Kunststoffspritzgussteile 180
 kurze Achse 106, 116, 149, 279

L

Lageabweichung 18, 47, 49, 63
 Lagersitze 109, 149, 250, 265, 277
 Lagetoleranz 62, 249
 – ohne Formtolerierung 295
 lange Achse 106, 149, 282
 Längenmaß 23, 164
 Lauf in beliebiger Richtung 155, 161
 Lauftoleranz 153, 170, 176
 LD (Innendurchmesser) 75
 LE, Linienelemente in einer Fläche 296
 Linienprofilltoleranz 122, 285
 Lochbild 144
 – mit Bezugsbohrungen 234
 – mit Bezugslochbild 236
 – schwimmend 145, 233, 282, 290
 Lochkreis 280

M

Maßangaben 14
 Maßarten 25
 Maßbegriffe 23
 Maßdefinition 23

Maßgruppen 24
 Maßkette 189
 - mit Form- oder Lagetoleranzen 203
 Maßtoleranz 23, 65, 134, 142, 242
 Maximum-Material-Bedingung 146, 220,
 272, 280, 285, 289, 292, 296
 - begrenzt 298
 Maximum-Material-Grenzmaß 26
 Maximum-Material-Zustand 289, 294
 menschliche Probleme 274
 Messebene 289
 Messunsicherheit 265
 Metallgussteile 178
 Methodik zur Tolerierung 247
 Mindestwanddicke 238, 240
 Minimumbedingung 61, 83, 106, 125, 292
 Minimum-Material-Bedingung 238, 272
 Minimum-Material-Grenzmaß 27
 Mittelpunktbestimmung 105, 158
 Mittenmaß 25
 mittenzentrierte Fertigung 254
 Montagespiel 192
 Montierbarkeit 20

N

Nachmessung 264
 NC (nicht konvex) 101
 Neigungstoleranz 137
 Nenngestalt 17, 121
 Nennmaß 25
 nicht-formstabiles Teil 263, 292
 nichttoleriertes Maß 30
 Normalverteilung 194
 Nulllinie 31
 Nullmaß 191, 203, 216
 Nulltoleranz 227, 232, 241
 Nutzen-Kosten-Verhältnis 253

O

Oberfläche 241
 - Abtastung 241
 - Filterung 241
 optimale Tolerierung 255
 Örtliches Istmaß 25
 Ortstoleranz 140, 296

P

Paarungsmaß 27
 Parallelitätstoleranz 61, 130, 172, 212
 Passfedernut 152, 277
 Passfläche 44
 Passung 35
 Passungssystem 38
 Pferchkreis 105
 Pferchzylinder 108
 Planlauf 155, 160
 Positionsabweichung 143
 Positionstoleranz 16, 113, 173, 213, 216, 233,
 237, 242, 280, 294
 Positionstolerierung 142
 Praxisbeispiele 276
 - Blechteil 284
 - Gelenkwellenflansch 244
 - Getriebedeckel 247
 - Getriebewelle 277
 - Halteblech 283
 - Kugelbolzen 251
 - Mitnehmerwelle 282
 - Pressenplatte 278
 - Schalterblende 14, 276
 - Schneckengetriebe-Gehäuse 287
 - Schwenklappe 281
 - Steckeraufnahme 288
 - Stützblech 291
 primärer Bezug 112f., 248, 284, 287
 Priorität 260
 Profiltoleranzen 121, 298
 projizierte Toleranzzone 70, 219, 296
 Prozessfähigkeit 196
 Prüfbarkeit 22
 prüfgerecht 14, 222, 260
 Prüflehre 39, 221, 225, 228, 285, 289
 - für Bezugsэлеment 229
 Prüfmaß 30
 punktweise bemaßtes Profil 124

Q

Qualitätsmanagement 272

R

Rauheit 242, 255
 rechnerintern definiertes Profil 124
 Rechnerunterstützung 250
 Rechteckverteilung 194
 Rechtwinkligkeitstoleranz 50, 137, 173,
 216, 228, 232
 reduzierte Spitzenhöhe 243
 Reziprozitätsbedingung 220, 231, 238, 272
 Richtungsabweichung 129
 Richtungstoleranz 205, 214, 242, 295
 Rohteilnenmaß 183
 Rohteilzeichnung 186
 RPS-System 119, 286
 Rundheitsabweichung 94, 156
 Rundheitstoleranz 92, 171, 211
 Rundlauf 155, 159, 217

S

Schließmaß 190f.
 Schließtoleranz 190
 – arithmetische 190, 199
 – Kontroll- 200
 – quadratische 196, 206
 – Rechteck- 196, 206
 – wahrscheinliche 193, 196, 206
 Schnittpunkt von Achsen 152
 Schulung 275
 Schweißkonstruktionen 181
 schwimmendes Lochbild 145, 233, 279,
 290, 296
 schwindungsarme Werkstoffe 271
 sekundärer Bezug 112
 selbstanpassende Bauweise 268
 Selbstbezug 237
 Spiel in Maßketten 192
 Spielpassung 36, 217, 224
 Standardabweichung 196
 Stanzteile 181
 statistische Tolerierung 190, 198, 224, 294
 steigende Bemaßung 65, 293
 Stirnzentrierung 110
 Stufenmaß 24, 185
 Symmetrietoleranz 15, 50, 151, 174, 182, 294
 Symmetrietoleranz über Wanddicken-
 differenz 219

T

Taylorischer Prüfgrundsatz 39
 tertiärer Bezug 112, 120
 theoretisches Maß 30, 121
 Toleranz 19, 25
 – einzeln eingetragen 164
 – Überlagerung 176, 246
 – Überschreitung 223, 273
 Toleranzanalyse 190
 Toleranzpfeil 67, 295
 Toleranzrahmen 66, 295, 297
 – Verbund- 297
 Toleranzraum 178, 241
 Toleranzsynthese 190
 Toleranzzone 60, 63, 69, 73, 81, 85, 207,
 245
 – begrenzt 69, 295
 – bogenförmig 296
 – eingeschränkt 69
 – geradlinig 207
 – konisch 296
 – nicht-mittig (Profiltoleranz) 298
 – projiziert 70, 219, 296
 – Radius- 294
 Tolerierungsgrundsatz 38, 55, 163, 167,
 247, 251, 294

U

Übergangspassung 36
 Übermaßpassung 36, 217
 Überschreitungsfaktor 157
 Überschreitungswahrscheinlichkeit 194,
 197
 Übersichtlichkeit 264
 Umgrenzungsbedingung 292, 298
 Unabhängigkeitsprinzip 40, 55, 167, 177,
 294
 Ungefährmaß 30

V

Verantwortlichkeit 22, 274
 vereinfachte Lochdarstellung 293
 Verfahrensabhängigkeit 163
 Vergrößerungsfaktor 200
 Verlustfunktion 253

Versatz 184, 217
 Versuche 264
 Verteilung 194
 - bei Form- und Lageabweichungen 195
 - einseitig schiefe 195
 - Nadel- 195
 - Normal- (Gauß-) 194, 197
 - Rechteck- 194
 - trapezförmig 195
 Verwindung 43, 91, 100, 271, 292
 verzugsarme Werkstoffe 271
 vollständiges Bezugssystem 112, 284
 Vollständigkeit 14, 17, 163, 258
 Vorrichtungsdeckel 279
 Vorzugsklassen 35

W

Wälzlagersitz 82, 108, 250, 265, 278
 Welligkeit 241
 Wenn-Dann-Satz 223, 226, 238
 werkstattübliche Genauigkeit 162
 werkzeuggebundene Fertigung 271
 Wertigkeit 253
 Winkelmaß 164
 Winkeltoleranz 139, 168, 173

wirkliches Geometrieelement 59, 65, 294
 wirksamer Grenzzustand 221, 273
 wirksamer Istzustand 27
 wirksamer Minimal-Grenzzustand 238
 Wirksames Grenzmaß 27, 209, 220, 286
 Wirksames Istmaß 27
 Wirtschaftlichkeit 21, 264

Z

Zählrichtung 191, 204
 Zeichnungsänderung 273
 Zeichnungseintragung 66
 Zeichnungsumstellung 273
 Zeichnungsvereinfachung 72
 Zertifizierung 273
 zielorientierte Fertigung 253
 zugeordnetes Geometrieelement 65, 84
 Zuordnen 269
 Zusammenarbeit 22, 274
 Zylinderformabweichung 96
 Zylinderform-, Zylindrizitätstoleranz
 95, 211
 Zylinderform-, Zylindrizitätstoleranzen
 242