

Prüfgerechte Tolerierung Maß, Form und Lage

Möglichkeiten der neuen GPS-Normen

Auszug aus dem Buchinhalt



ZEISS ACADEMY
METROLOGY



Prüfgerechte Tolerierung Maß, Form und Lage

Zusammengestellt von

Robert Roithmeier

Oberkochen – 2016

Eine Publikation der
ZEISS Metrology Academy

Inhalt

1	Einführung	10
1.1	Funktions-, fertigungs- und prüfgerechte Konstruktion	10
1.2	Zusammenarbeit der Bereiche	14
2	Prüfgerechte Maß-, Form- und Lagetolerierung	21
3	Form	25
3.1	Linienhafte Form	30
3.1.1	Rundheit	30
3.1.2	Geradheit einer Linie in einer Ebene	32
3.1.3	Geradheit einer Achse	34
3.1.4	Geradheit von Mantellinien	37
3.1.5	Einfache Profilform einer Linie	38
3.2	Flächenhafte Form.....	40
3.2.1	Zylinderform.....	40
3.2.2	Ebenheit einer Fläche	42
3.2.3	Ebenheit einer Mittelebene.....	43
3.2.4	Einfache Profilform einer Fläche	44
4	Größenmaß.....	47
5	Hüllbedingung und Unabhängigkeitsbedingung....	53
6	Bezug.....	61
6.1	Bezugselement	61
6.2	Bezugssystem	66
7	Richtung und Winkel.....	75
7.1	Varianten der Richtungstolerierung	76
7.1.1	Richtung einer Ebene	76
7.1.2	Richtung einer Achse.....	79
7.1.3	Richtung einer Mantellinie.....	81
7.2	Neigung statt Winkel.....	84

8	Ort und Abstand	86
8.1	Ortstolerierung	86
8.1.1	Position einer Ebene	87
8.1.2	Position von Achsen	89
8.1.3	Symmetrie	91
8.1.4	Koaxialität und Konzentrizität.....	92
8.2	Profilform mit Bezug.....	95
8.3	Ort statt Abstand.....	99
9	Lochbild und Verbundtoleranz	102
9.1	Position bei einem Lochbild	102
9.2	Verbundtolerierung	105
10	Lauf	110
10.1	Lauf an einer Ebene	110
10.2	Lauf an einer Mantelfläche	112
11	Toleranzausnutzung von Form- und Lagetoleranzen	114
11.1	Maximum-Material-Bedingung	114
11.2	Umgekehrte Toleranzausnutzung	120
11.3	Minimum-Material-Bedingung	122
12	Eingeschränkte Toleranzzone und Bezugsbereich	126
12.1	Eingeschränkte Toleranzzone.....	126
12.2	Eingeschränkter Bezugsbereich.....	128
12.3	Projizierte Toleranzzone.....	130
13	Allgemeintoleranzen	132
14	Zeichnungsangaben zur Messstrategie.....	138
14.1	Assoziation	138
14.2	Filtereintragungen	140
14.3	Ausflug in die Konturanalyse	141
14.3.1	Digitales Filtern	150

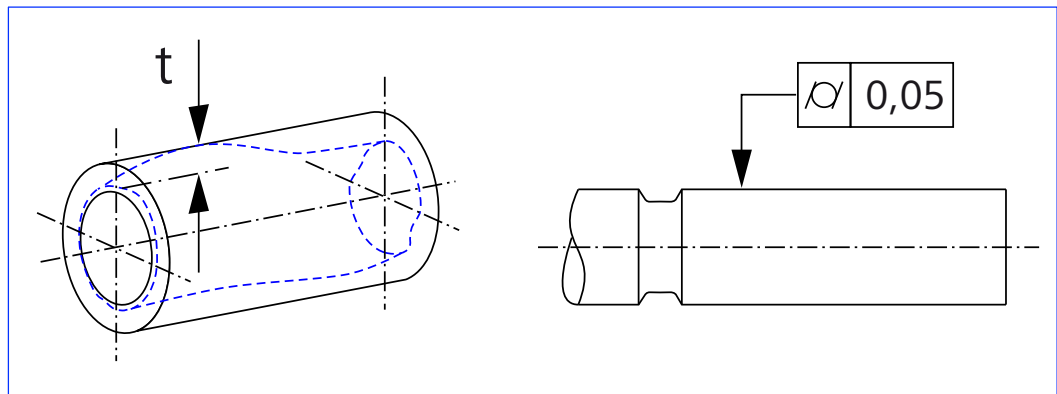
14.3.2 Tiefpass: Analyse der Werkstückform	152
14.3.3 Hochpass und Bandpass	157
14.3.4 Anmerkungen zur digitalen Filterung.....	160
15 Prüfmittleignung	164
15.1 Messsystemanalyse: Fähigkeit und GR&R-Test ..	170
15.2 GUM und VDA 5	171
16 Schlussbemerkungen	174
Anhang	176
A Weitere Bücher der ZEISS Metrology Academy .	176
B Wichtige ISO-, US- und DIN-Normen	179
C Literaturquellen ohne Normen.....	184
D Bilder und Tabellen.....	188
E Index.....	194

3.2 Flächenhafte Form

3.2.1 Zylinderform

- Bei der Zylinderformtolerierung²² (Symbol: $\boxed{\text{M}}$) besteht die Toleranzzone aus zwei koaxialen Zylindern (zwei Zylindern mit derselben Achse) vom Abstand t (siehe Bild 16 am Beispiel einer Zylinderformprüfung einer Welle). Der Toleranzpfeil zeigt dabei stets auf die Mantelfläche, ein Durchmesserzeichen \varnothing wird nicht angebracht.

Bild 16: Zylinderformtoleranz einer Welle



Implizite Toleranzen

Die Zylinderform beschränkt implizit auch die Rundheit der einzelnen Kreisschnitte, die Geradheit der Zylinderachse sowie die Geradheit und die Parallelität²³ der Mantellinien²⁴.

$\boxed{\text{M}}$ beinhaltet: $\boxed{\text{R}}$ und $\boxed{\text{—}}$ _{Achse} und $\boxed{\text{—}}$ _{Mantel} und $\boxed{\text{//}}$ _{Mantel}

²² Statt Zylinderform wird auch von der Zylindrizität gesprochen, also z.B. Zylindrizitätsabweichung statt Zylinderformabweichung. In diesem Buch wird auf diese Ausdrucksweise verzichtet, da sie schwieriger auszusprechen ist.

²³ Zur Parallelität siehe Kapitel 7, ab Seite 75

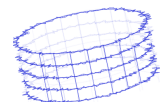
²⁴ Wenn also die Zylinderformabweichung z.B. max. 0,03 mm ist, kann keine einzelne Rundheitsabweichung größer als 0,03 mm sein. Auch die Geradheitsabweichung kann max. 0,03 mm sein. Allerdings kann in die Parallelitätsabweichung gegenüberliegender Mantellinien den doppelten Wert, also 0,06 mm, erreichen.

Der Zylinder wird als Ganzes geprüft. In der Messtechnik sind also ausreichend viele Oberflächenpunkte (z.B. als 3, 5 oder 7 Kreis-schnitte) aufzunehmen. Die Prüfung der Zylinderform ist wiederum nur mit einem Koordinatenmessgerät oder einem Formprüfgerät möglich.

Prüfung



Die Zylinderformtolerierung trifft – analog zur Rundheitsprüfung – keine Aussage zum Durchmesser oder zum Mittelpunkt des Geometrieelements. Allerdings wird mit der Zylinderformtoleranz im Gegensatz zur Rundheitstoleranz z.B. die Kegelförmigkeit des Werkstücks begrenzt (Beispiele siehe Tabelle 4).



Beispiele für Abweichungsarten	Grafik	Abweichung wird durch Tolerierung erfasst? <input checked="" type="checkbox"/> ja
Seitliche Ansicht: Kegelförmig, konkav oder konvex		<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Achse nein <input type="checkbox"/> Mantel ja
Seitliche Ansicht: Werkstück nicht koaxial		<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Achse ja <input type="checkbox"/> Mantel ja
Seitliche Ansicht: Werkstück krumm		<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Achse ja <input type="checkbox"/> Mantel ja
Draufsicht: Dreibogen gleichdick oder ellip-senförmig		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> Achse nein <input type="checkbox"/> Mantel nein

Tabelle 4: Form-abweichungen von Zylindern und geeignete Tolerierungsarten zur Erfassung

3.2.2 Ebenheit einer Fläche




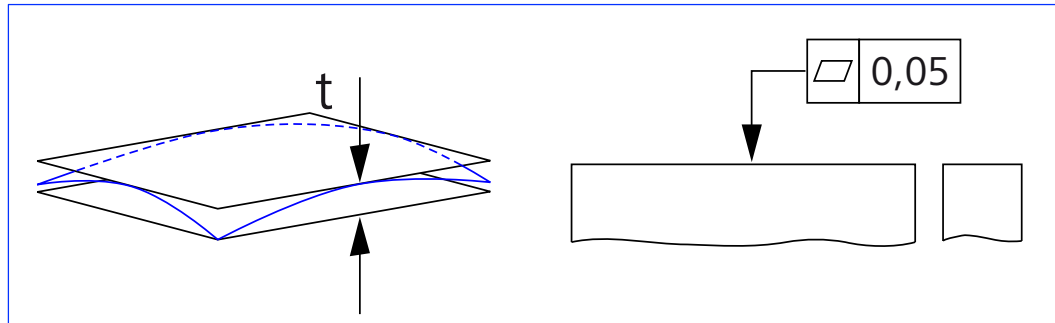
Bei der Ebenheitstolerierung (Symbol: ) einer Fläche wird die Toleranzzone durch zwei parallele, gerade Ebenen vom Abstand t begrenzt (siehe Bild 17).

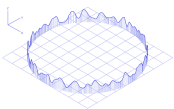
Bild 17: Ebenheit einer Fläche





Prüfung



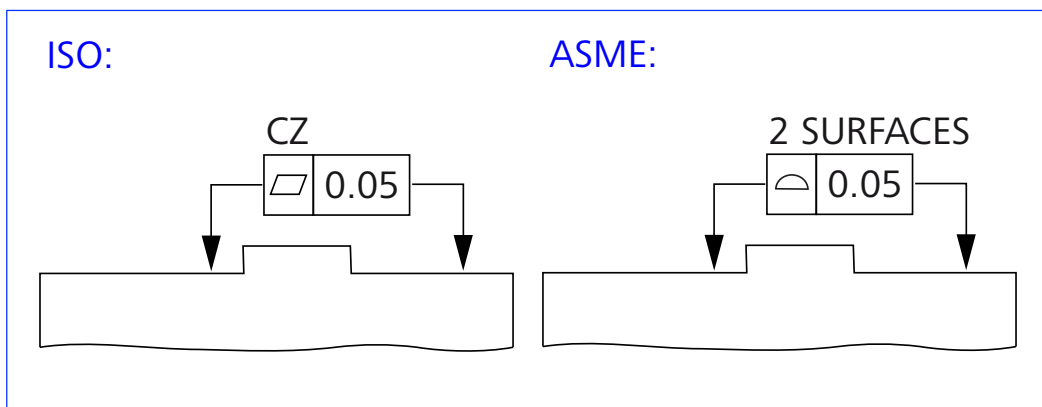
Die Prüfung der Ebenheit soll durch Aufnahme möglichst vieler Oberflächenpunkte erfolgen. Beim taktilen Messen mit einem Koordinatenmessgerät ist es ökonomisch vertretbar, nur wenige Messlinien in Längs- und in Querrichtung oder wenige kreisförmige Messlinien aufzunehmen. Hier ist es von hoher Wichtigkeit, Funktion und Fertigung des Werkstücks genau zu kennen, um die „richtigen“ Messlinien zu erfassen. Diese Prüfung gibt keine Aussage über die Neigung der beiden parallelen Ebenen der Toleranzzone zur Nenngeometrie. Bei der Prüfung wird lediglich der kleinstmögliche Abstand zweier geeigneter paralleler Ebenen, die alle gemessenen Oberflächenpunkte einer Messlinie einschließen, mit dem Abstand t aus der Toleranzvorgabe verglichen.



ISO-ASME-Unterschied


Wenn die gemeinsame Ebenheit von mehreren Flächen geprüft werden soll, ist laut ISO-Normung wieder das Kürzel „CZ“ (für Common Zone = gemeinsame Toleranzzone) neben dem Symbol  anzugeben. Im Gegensatz dazu schreibt die US-amerikanischen Norm [ASME Y14.5] vor, hier mit der Profilformtolerierung von Flächen .

(siehe Kapitel 3.2.4) zu arbeiten. Statt der Angabe von „CZ“ wird in der ASME-Normung „2 Surfaces“ (engl. für „2 Oberflächen“) oder Ähnliches am Toleranzrahmen notiert (siehe Bild 18).

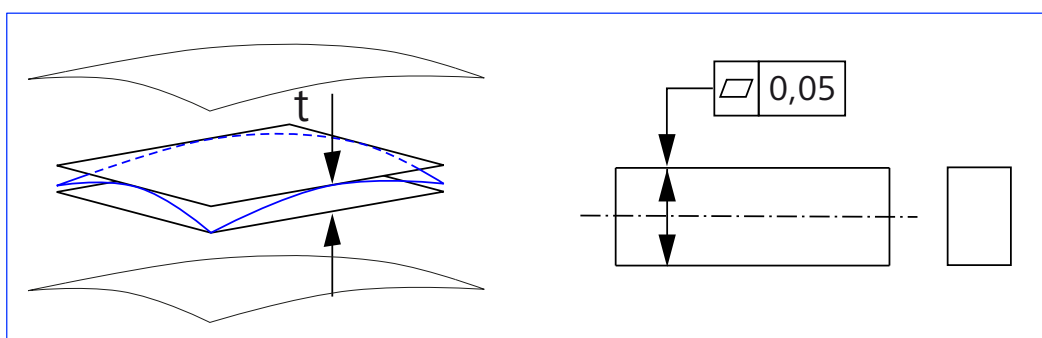


*Bild 18:
Gemeinsame
Ebenheit ISO-
ASME-
Unterschied*

3.2.3 Ebenheit einer Mittelebene

Die Ebenheitstolerierung (Symbol: ) einer Mittelebene (Symmetrie-
fläche) funktioniert fast genauso wie die Ebenheitstolerierung einer Fläche. Jedoch wird die Mittelebene aus den Mittelpunkten der gegenüberliegenden Punkte gebildet (siehe Bild 19).

 *Mittelebene*



*Bild 19: Ebenheit
einer Mittelebene*

Im Gegensatz zur ISO-Normung gilt die Ebenheit in der US-amerikanischen Norm [ASME Y14.5] nur für wirkliche Geometrielemente.

*ISO-ASME-
Unterschied*

Für Mittelebenen wird hingegen das Geradheitssymbol \square verwendet [JORDEN 2007].

Prüfung



Die Prüfung der Ebenheit einer Mittelebene kann nur mit einem Koordinatenmessgerät durchgeführt werden. Beim Messen sind die beiden Flächen ausreichend zu erfassen, aus denen die Mittelebene gebildet wird. Die Mittelebene wird hierbei als Satz einzelner Symmetriepunkte gegenüberliegender Messpunkte berechnet, die jeweils senkrecht zur tatsächlichen lokalen (Gauss-)Mittelebene aufgenommen werden müssen.

Implizite Toleranzen

Die Ebenheit beschränkt implizit auch die Geradheit einzelner Messlinien.

\square beinhaltet: \square Oberfläche beziehungsweise \square Mittellinie

3.2.4 Einfache Profilform einer Fläche



Wenn die geometrische Form einer tolerierten Fläche nicht durch eine Zylindertolerierung oder Ebenheitstolerierung beschrieben werden kann, da die Fläche frei gekrümmt ist (Freiformfläche), so verwendet man die Profilformtolerierung einer Fläche²⁵. Die Profilform einer Fläche ist die allgemeine Form, Zylinderform und Ebenheit sind nur lediglich Spezialfälle dieser Tolerierungsart. Die Profilformtolerierung einer Fläche (Symbol: \square) grenzt beliebige beschriebene Flächen ein. Hierbei müssen alle Oberflächenpunkte der tolerierten Geometrie

²⁵ Die hier besprochene Profilformtoleranz einer Fläche ist ohne Bezug. Zur Profilformtoleranz einer Fläche mit Bezug sei auf Kapitel 8.2, Seite 94 verwiesen.

rie innerhalb zweier Freiformflächen liegen, die Kugeln vom Durchmesser t einhüllen (siehe Bild 20). Die Beschreibung der Kurvenform (des Profils) erfolgt wiederum zumeist als Datensatz.

Die Profilform einer Fläche kann sinnvoll meist nur mit einem Koordinatenmessgerät geprüft werden. Diese Tolerierung erlaubt keine Aussage zur Richtungs- oder Ortstreue des Profils, solange dieses nicht mit Bezügen²⁶ versehen ist.

Prüfung

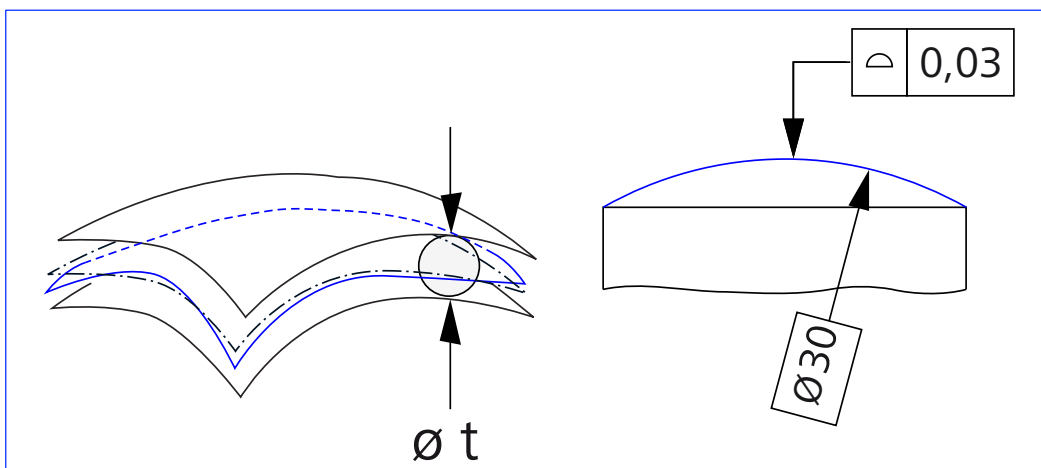
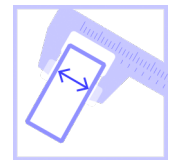


Bild 20: Profilformtoleranz einer Fläche

Die Profilform einer Fläche beschränkt implizit auch die Profilform einer Linie.

☐ beinhaltet: ☐

Implizite Toleranzen

Am Ende dieses Kapitels über Formtolerierung muss nochmal auf die Eingangs erwähnte Problematik (siehe Bild 5 auf Seite 24) hingewie-

Abschließende Bemerkung

²⁶ Zur Bezugsbildung siehe Kapitel 6 ab Seite 60.

sen werden. Damit die gesamte GPS nicht nur funktions- und fertigungsgerecht, sondern auch prüfgerecht ist, ist folgende Regel zur prüfgerechten Formtolerierung einzuhalten:

*Prüfgerechte
Tolerierung*

Regel R1: Prüfgerechte Formtolerierung

Bei jedem Geometrieelement, das für die Bauteilfunktion oder als Bezug für andere Elemente Verwendung findet, ist zuerst die Formtreue sicherzustellen. Denn erst wenn man die Form eines Bauteils im Griff hat, kann man die Einhaltung von Maßen und Lagetoleranzen gewährleisten.

D Bilder und Tabellen

Bilder- verzeichnis

Bild 1: Technische Zeichnung eines Lagerbocks (Auszug)	10
Bild 2: Zusammenarbeit in der industriellen Produktion	14
Bild 3: Literaturempfehlungen Form und Lage	19
Bild 4: Geometrieelemente in den Produktentstehungsphasen	23
Bild 5: Produktentstehungsphasen mit instabilem Bezug	24
Bild 6: Formtolerierung am Beispiel eines Lagerbocks	28
Bild 7: Formtolerierung einer Bohrung	30
Bild 8: Rundheitstoleranz	30
Bild 9: Geradheitstoleranz einer Ebene	32
Bild 10: Geradheitstoleranz einer Achse	35
Bild 11: Gemeinsames Prüfen mehrerer Achsabschnitte	36
Bild 12: Geradheitstoleranz einer Mantellinie	37
Bild 13: Profilformtoleranz einer Linie	39
Bild 14: Zylinderformtoleranz einer Welle	40
Bild 15: Ebenheit einer Fläche	42
Bild 16: Ebenheit einer Mittelebene	43
Bild 17: Profilformtoleranz einer Fläche	45
Bild 18: Beispiele für Größenmaße: 1. \varnothing Bohrung, 2. \varnothing Welle, 3. Nutbreite ...	47
Bild 19: Arten der Größenmaßtolerierung	47
Bild 20: Größenmaßtolerierung am Beispiel eines Lagerbocks	49
Bild 21: Größenmaße mit SCS und ACS	51
Bild 22: Maß unabhängig von Form laut [DIN EN ISO 8015]	53
Bild 23: Extremfall sich überlagernder Maß- und Formabweichung	54
Bild 24: Tolerierung nach Hüllbedingung	54
Bild 25: Extremfälle der Maß- und Formabweichung bei der Hüllbedingung ...	55
Bild 26: Tolerierung nach [DIN 7167]	56
Bild 27: Anwendung der Hüllbedingung am Beispiel eines Lagerbocks	56
Bild 28: Extremfall von sich überlagernder Maß- und Formabweichung	58
Bild 29: Beispiel für eine Rechtwinkligkeitstolerierung mit Bezugselement „F“ an einem Lagerbock	61
Bild 30: Beispiele für Bezugselemente an einem Lagerbock	62
Bild 31: Unsichere Bezugsbestimmung bei geringer Ausdehnung des Bezugselements (Beispiel: Koaxialität)	65
Bild 32: Sechs Freiheitsgrade im Raum	66
Bild 33: Zwei mögliche Bezugssysteme am Lagerbock	69

Bild 34: Vertauschte Bezugsreihenfolge	70
Bild 35: Bezugsstellen an einer Freiformfläche.....	71
Bild 36: Bezug – Werkstück gespannt zwischen zwei Spitzen	73
Bild 37: Richtungstolerierung am Beispiel eines Lagerbocks	75
Bild 38: Parallelitätstoleranz einer Ebene	76
Bild 39: Rechtwinkligkeitstoleranz einer Ebene.....	76
Bild 40: Neigungstoleranz einer Ebene	76
Bild 41: Ebene oder Achse als Bezugselement	77
Bild 42: Parallelitätstolerierung ohne Betrachtung der Formabweichungen nach innen	79
Bild 43: Parallelitätstoleranz einer Achse mit zylindrischer Toleranzzone.....	79
Bild 44: Parallelitätstoleranz einer Achse mit einer Toleranzzone, die durch zwei parallele Ebenen aufgespannt wird	79
Bild 45: Parallelitätstoleranz mit Toleranzzonen-Richtungsanzeiger	80
Bild 46: Parallelität von Mantellinien zueinander	82
Bild 47: Unterschied Neigungs- zu Winkelmaßtoleranz	84
Bild 48: Ortstolerierung am Beispiel eines Lagerbocks	86
Bild 49: Ortstoleranzzone.....	87
Bild 50: Positionstolerierung einer Ebene	88
Bild 51: Position einer Achse mit zylinderförmige Toleranzzone.....	89
Bild 52: Position einer Achse mit quaderförmiger Toleranzzone	89
Bild 53: Achsberechnung für Positionstoleranz.....	90
Bild 54: Symmetrietoleranz	91
Bild 55: Koaxialitätstoleranz.....	92
Bild 56: Konzentritätstoleranz.....	93
Bild 57: Koaxialität mit nicht prüfgerechtem Bezug	94
Bild 58: Koaxialität mit prüfgerechtem Bezug	94
Bild 59: Profilformtoleranz einer Linie mit Bezug	95
Bild 60: Profilformtoleranz einer Fläche mit Bezug	95
Bild 61: Umlaufende Profilformtoleranzzone einer Fläche.....	97
Bild 62: Umlaufende und vollflächige Toleranz.....	97
Bild 63: Nochmals: Positionstolerierung	99
Bild 64: Abstandstolerierung	99
Bild 65: Problematik der Maßtolerierung von Abständen	100
Bild 66: Maßkette	100
Bild 67: Maßtolerierung vs. Positionstolerierung	100
Bild 68: Beispiel für eine Lochgerade.....	102

Bild 69: Verbundtoleranz	105
Bild 70: Beispiel einer Verbundtoleranz	106
Bild 71: Beispiel einer Einzeltoleranz.....	106
Bild 72: Lochbildbemaßung mit Positionen	107
Bild 73: Lochbildbemaßung mit Maßtoleranzen	107
Bild 74: Gekrümmtes Lochbild mit Maßtoleranzen	107
Bild 75: Planlauf einer Stirnfläche.....	110
Bild 76: Gesamtplanlauf einer Stirnfläche.....	110
Bild 77: Rundlauf einer Mantelfläche	112
Bild 78: Gesamtrundlauf einer Mantelfläche	112
Bild 79: Maximum-Material-Bedingung am Lochkreisbeispiel	114
Bild 80: Beispiel 1 zur Maximum-Material-Bedingung.....	115
Bild 81: Beispiel 1 ohne Maximum-Material-Bedingung	115
Bild 82: Beispiel 1 mit Maximum-Material-Bedingung	116
Bild 83: Beispiel 2 mit doppelter Maximum-Material-Bedingung	117
Bild 84: Beispiel 2 mit Toleranzzonen	117
Bild 85: Geradheitsabweichung mit Maximum-Material-Bedingung	118
Bild 86: Extremfälle der Geradheitsabweichung bei der Maximum-Material-Bedingung	119
Bild 87: Geradheitsabweichung mit Hüllbedingung	119
Bild 88: Extremfälle der Geradheitsabweichung bei der Hüllbedingung	119
Bild 89: Extremfall der Geradheitsabweichung mit R-Bedingung	120
Bild 90: Umgekehrte Toleranzausnutzung	121
Bild 91: Minimum-Material-Bedingung am tolerierten Wert	122
Bild 92: Beispiel zur Minimum-Material-Bedingung	122
Bild 93: Minimum-Material-Bedingung mit R-Bedingung.....	123
Bild 94: Eingeschränkte Geradheitstoleranz.....	126
Bild 95: Eingeschränkter Bezugsbereich	128
Bild 96: Möglichkeiten der Bezugsbereichseinschränkung	128
Bild 97: Kegel als Bezug in seinen Freiheitsgraden eingeschränkt	129
Bild 98: Projizierte Toleranzzone	130
Bild 99: GPS-Normenpyramide.....	136
Bild 100: Allgemeintoleranzen (gestrichelt) für eine technische Zeichnung mit „ISO 2768-mH“	136
Bild 101: Beispiel für eine Toleranzangabe mit Assoziationskriterium	138
Bild 102: Beispiel für ein Assoziationskriterium am Bezug.....	139

Bild 103: Unterschiedliche Wellenlängen und Amplituden von Schwingungen.....	142
Bild 104: Resultierendes Profil aus Addition einzelner Wellen	143
Bild 105: Überlagerungen von Wellen unterschiedlicher A und λ	143
Bild 106: Darstellung der einzelnen Schwingungsbestandteile als Spektrum .	144
Bild 107: Grafik des Spektrums einer technischen Oberfläche (Drehteil)	144
Bild 108: Interpretierte Grafik des Spektrums einer technischen Oberfläche (Drehteil)	145
Bild 109: Dreiwegebox als Analogie zum digitalen Filtern in der Messtechnik	150
Bild 110: Hochpass, Bandpass, Tiefpass in der Koordinatenmesstechnik.....	151
Bild 111: Tiefpassfilterung.....	152
Bild 112: Schematische Darstellung der Tiefpassfilterung	153
Bild 113: Filterung mit Gaußfilter (Tiefpass).....	153
Bild 114: Filtervorlauf- und -nachlaufstrecken beim Gaußfilter	154
Bild 115: Zylinderlauffläche mit Honmarken [AUKOM 3]	155
Bild 116: Ebenheitsabweichungen auf einer Zylinderkopffläche mit unterschiedlichen λ_c [AUKOM 3].....	155
Bild 117: Hochpassfilterung	158
Bild 118: Bandpassfilterung	159
Bild 119: Unterschied Wellentiefe zu Amplitude.....	159
Bild 120: Morphologisches Filter: rechnerische Simulation der mechanischen Filterwirkung	161
Bild 121: Entscheidungsregeln nach [DIN EN ISO 14253-1]	164
Bild 122: Einflüsse auf das Messergebnis (Koordinatenmessgerät).....	165
Bild 123: Längenmessabweichungsdiagramm für ein System mit längenabhängiger zulässiger Abweichung	167
Bild 124: Vorgehensweise bei der Messsystemanalyse	171
Tabelle 1: Abweichungsarten nach DIN 4760.....	25
Tabelle 2: Beispiele für typische Fertigungsabweichungen	26
Tabelle 3: Mantellinienmessung ohne und mit Vorausrichtung.....	38
Tabelle 4: Formabweichungen von Zylindern und geeignete Tolerierungsarten zur Erfassung	41
Tabelle 5: Gebräuchlichste Modifizierer.....	48
Tabelle 6: Hüll- und Unabhängigkeitsbedingung in ISO, ASME und DIN 7176	58
Tabelle 7: Mathematische Auswertung bei der Prüfung nach Hüllbedingung .	59

Tabelle 8: Wichtige Bezugselemente und Freiheitsgrade	67
Tabelle 9: Weitere Bezugselemente und Freiheitsgrade	68
Tabelle 10: Bezugssystem und fixierte Freiheitsgrade	69
Tabelle 11: Unsymmetrische Profiltoleranzzone.....	96
Tabelle 12: Tolerierung von Lochbildern.....	103
Tabelle 13: Unterschiede zwischen R-Bedingung und O-M-Tolerierung.....	121
Tabelle 14: Möglichkeiten der Toleranzzoneneinschränkung	127
Tabelle 15: Allgmeintoleranzen für Längenmaße nach DIN ISO 2768-1	133
Tabelle 16: Allgmeintoleranzen für Winkelmaße nach DIN ISO 2768-1	133
Tabelle 17: Allgmeintoleranzen für Geradheit und Ebenheit nach DIN ISO 2768-2	134
Tabelle 18: Allgmeintoleranzen für Rechtwinkligkeit nach DIN ISO 2768-2.	134
Tabelle 19: Schematische Beispiele für Spektren bestimmter Formabweichungen	146
Tabelle 20: Praktische Beispiele für Spektren bestimmter Formabweichungen nach [SEEWIG 2000]	147
Tabelle 21: Beispiele für Spektralanalyse	149
Tabelle 22: Anwendungsbeispiele der Fourier-Analyse [nach MEYER 2006] ...	156
Tabelle 23: Übersicht über die MPE (Auszug)	168
Tabelle 24: Überblick über die Eignungsverfahren	172
Regel R1: Prüfgerechte Formtolerierung.....	46
Regel R2: Prüfgerechte Größenmaßtolerierung	52
Regel R3: Prüfgerechte Unabhängigkeits- und Hüllbedingung.....	59
Regel R4: Prüfgerechter Bezug.....	73
Regel R5: Prüfgerechte Richtungstolerierung	85
Regel R6: Prüfgerechte Ortstolerierung	101
Regel R7: Prüfgerechte Lochbildtolerierung.....	108
Regel R8: Prüfgerechte Lauftolerierung	113
Regel R9: Funktions- und prüfgerechte Toleranzausweitung	124
Regel R10: Prüfgerechte Einschränkung von Toleranzzone und Bezugsbereich	130
Regel R11: Allgmeintoleranzen	137
Regel R12: Prüfgerechte Spezifikationsvorgaben.....	162
Regel R13: Prüfgerechte Messmittelwahl	173
Regel R14: Aufgabenorientierte Zusammenarbeit	174

*Regel-
verzeichnis*

E Index

(A)	37	Ablaufdauer.....	182
(AD).....	145	Abstandstolerierung	105
(C)	149	Abweichungen	12
(CA).....	50	Achse	36
(CC).....	50	ACS	33, 98, 118
(CV).....	50	Allgemeintoleranz.....	141
(E).....	57, 125, 141	ALS.....	35
(F).....	76	Altered Default	145
(G)	149	Amplitude.....	153
(GC).....	51	Analysefähiger Bezug	66
(GG).....	50	Antastabweichung.....	182
(GN).....	50, 62	Any Cross Section	33, 118
(GX).....	50, 62	Any Longitudinal Section	35
(I).....	61	Anzeiger für Richtung	84
(LP).....	50	Anzeiger für Schnittebene.....	84
(LS).....	50	Arbeitsfolgenbezogener	
(M)	110, 121	Produktionsbezug.....	66
(N)	148	ASME Y14.5	23, 45, 121
(P).....	139	ASME-Regel Nr. 1	59
(R)	127	ASME-Regel Nr. 2	34
(S).....	132	Assoziationskriterium.....	148
(SM).....	52	At-Line-Prüfung	56
(SN)	52, 62	AUKOM.....	20
(SR).....	52	Äußere Hülle.....	57
(SX).....	52, 62	Äußere Tangentialebene.....	91, 149
(T).....	82, 149	Äußeres Tangentialelement	75
(U)	102	Auswertemethode	34
(X)	148	Auswerteverfahren	148
[PL].....	137	AVG	53
[PT].....	137	Bandpassfilter	162
[SL].....	137	Bezug	64
><.....	111, 137	Bezugsdreieck.....	64
0-L-Tolerierung.....	131	Bezugselement	64
0-M-Tolerierung	128	Bezugsmittelebene	90
3-2-1-Bezug.....	74	Bezugsmittellinie.....	90
3-2-1-Regel.....	74	Bezugsmittelpunkt	90

Bezugsrahmen	64	Drei-Ebenen-Bezugssystem	72
Bezugsreihenfolge	73	Durchmesserzeichen	36
Bezugsstelle	74	Ebenheitsabweichung	26
Bezugssystem	69	Ebenheitstoleranz einer Fläche	44
Bohrbild	109	Ebenheitstoleranz einer Mittelebene	45
CAD-Datensatz	11	Echtzeit-Spektralanalyse	160
Common Zone	38	Eignung	183
CZ	38, 111	Eingeschränkte Toleranzzone	134
Digitales Filtern	162	Eingeschränkter Bezugsbereich	136
DIN 16742	143	Erfasste Geometrie	23
DIN 3302	143	Exzentrizität	157
DIN 40680	143	F	151
DIN 4760	26	Fähigkeit	180, 184
DIN 6930-2	143	Feinzeiger	118
DIN 71606	144	Fertigung	12
DIN 7167	59	Fertigungsabweichungen	27
DIN 7526	144	Filter	151
DIN 7527	144	Filternachlaufstrecke	166
DIN 7715-1	143	Filtervorlaufstrecke	166
DIN EN 10243	144	Formabweichung	26
DIN EN 12020	143	Formfreie Mittelebene	82
DIN EN 586-3	144	Formprüfgerät	33
DIN EN 755-9	143	Formtolerierung	26
DIN EN ISO 1	31	Fourier-Analyse	151, 160
DIN EN ISO 10579	76	Freier Zustand	76
DIN EN ISO 1101	38	Freiformfläche	46
DIN EN ISO 13920	143	Freiheitsgrad	69
DIN EN ISO 14253	177	Funktion	12
DIN EN ISO 14405	49	G	151
DIN EN ISO 16610	172, 174	Gauß Bestfit	50
DIN EN ISO 22432	12	Gaußebene	149
DIN EN ISO 2692	121	Gaußfilter	151
DIN EN ISO 286	49	Gaußkreis	149
DIN EN ISO 5459	72	Gaußzylinder	149
DIN EN ISO 8015	56	GD&T	23
DIN EN ISO 8062	143	Gemeinsame Toleranzzone	38
DIN EN ISO 9013	143	Gemeinsamer Bezug	74
DIN ISO 2768	141	Genauigkeit	177
Dreh-/Schwenkgelenk	183	Geometrische Produktspezifikation	13
Drehtisch	183	Geradheitsabweichung	26
Dreibogengleichdickform	157	Geradheitstoleranz einer Achse	36

- Geradheitstoleranz einer Ebene 34
- Geradheitstoleranz einer Kante 36
- Geradheitstoleranz von Mantellinien 39
- Gesamtplanlauf tolerierung 117
- Gesamtrundlauf tolerierung 119
- Gleich dickform 151
- Goldene Regel der Messtechnik 180
- GPS 144
- GPS-Normen 11
- GPS-Normenkette 144
- GPS-System 11, 144
- GR&R-Test 184
- Grenzwellenlänge 151, 163
- Grenzwellenzahl 163
- Größenmaß tolerierung 49
- Grundtoleranz 49
- GUM 185
- Haarlineal 35
- Harmonische 157
- Harmonische Schwingung 151
- Helixbahn 120
- Hochpassfilter 162
- Höchstzulässige Abweichung 91
- Hüllbedingung 56, 57
- Hüllelement 91
- Hüllkreis 50, 148
- Hüllprinzip 56
- Hüllzylinder 50, 148
- In-Line-Prüfung 56
- Innere Hülle 57
- Innerer Bezug 110
- Invokationsprinzip 144
- ISA 22
- ISO 22
- ISO/IEC Guide 98-3 185
- ISO-Gremien 144
- ISO-Maß toleranzsystem 49
- ISO-Toleranzfeld 49
- Kandidatenmethode 76
- Kartesisches Koordinatensystem 72
- Kleinste-Quadrate-Methode 50
- Koaxialitätstoleranz 90
- Koaxialitätstoleranz 97
- Kompensator 132
- Konstruktionszeichnung 10
- Kontur 152
- Konzentritätstoleranz 90
- Konzentritätstoleranz 97
- Koordinatenmessgerät 33, 178
- Koplanarität 37
- Kugelförmige Toleranzzone 96
- Kuppen 27
- L 130
- Lageabweichung 26
- Lagetoleranz 79
- Lambda 153
- Längenmessabweichung 180, 182
- Laufabweichung 26
- Lauf toleranz 117
- Least Material Condition 129
- Least Material Requirement 129
- Lehre 57, 125
- LMC 129
- LMR 129
- Lochbild 109
- Lochgerade 109
- LSCI 149
- LSCO 149
- LSCY 149
- LSPL 149
- Mantellinie 37, 40, 86
- Maßabweichung 26
- Maßkette 106
- Maß tolerierung eines Abstandes ... 105
- Maximal zulässige Messabweichung
..... 180
- Maximum Material Condition 121
- Maximum Material Requirement ... 121
- Maximum Permissible Error 180
- Maximum-Material-Bedingung 109,
121
- MCCI 148

MCCY	148	Position einer Achse	94
Mehrfachtaster	183	Positionstoleranz	90
Mehrwellennormal	158	Primärer Bezug	69
Messmittelfähigkeit	180	Profilformtoleranz.....	101
Messsystemanalyse.....	184	Profilformtoleranz einer Fläche	46
Messuhr	118	Profilformtoleranz einer Linie	41
Messunsicherheit.....	177	Projizierte Toleranzzone	139
MICI	148	Prüfgerechter Bezug	66
MICY	148	Prüfgerechter Bezug	77
Minimum-Material-Bedingung	129	Prüfmittleignung.....	177
Mittelebene	37	Prüfprozess.....	180
MMC.....	121	Prüfprozessfähigkeit	180
MMR.....	121	Prüfung	13
Modifizierer	50	Punktewolke.....	24
Morphologische Filter	173	Querprofil.....	170
MPE.....	180	Rangordnungsmaß	52
NC.....	67	Rattermarke.....	157
Neigungstoleranz.....	79	Rattermarken.....	27
Nenngeometrie.....	23	Rauheit.....	27
Nennmaß	49	Rauheiten	157
Nicht konvex	67	Rauheitsprüfung	170
Normenpyramide.....	144	R-Bedingung.....	127
Nur Richtung	111	Rechtwinkligkeitstoleranz	79
Obere Toleranzgrenze.....	49	Referenztemperatur	31
Oberes Abmaß	49	Regardless of Feature Size	132
Oberflächenprüfung	170	Reziprozitätsbedingung	127
Off-Line-Prüfung.....	57	RFS	132
Ohne Form	85, 95, 100	Richtung.....	79
Ort	90	Richtungsabweichung.....	26
Ortsabweichung	26	Richtungsanzeiger	84
Ortsstoleranz	90	Richtungstoleranz.....	79
OTPL.....	149	Riefen	27, 157
Ovalität.....	157	Rillen	27, 157
Paarungsfähigkeit	125	Risse	27
Parallelitätstoleranz.....	79	Robuste Gaußfilter.....	173
Passungsfähigkeit	125	Rotatorischer Freiheitsgrad	69
Peak	159	RPS-System.....	75
Pferchelement	91	Rundheitsabweichung	26
Pferchkreis.....	50, 148	Rundheitstoleranz.....	32
Pferchzylinder	51, 148	Rundlauf tolerierung	119
Planlauf tolerierung	117	S.....	151

SØ	96	Umschlagsmessung	87
Scanningantastabweichung	182	Unabhängigkeitsbedingung	56
Scanningzeit	182	Unabhängigkeitsprinzip	56
Schnittebenenanzeiger	84	Untere Toleranzgrenze	49
Schuppen	27	Unteres Abmaß	49
Schwimmende Tolerierung	38, 110	UPR	163
SCS	53	UZ	102
Sekundärer Bezug	69	VDA 5	186
Separate Zone	38	VDI/VDE 2601	27
Spektralanalyse	152	Veränderliche Toleranzzone	135
Spektrum	152	Verbundtoleranz	112
Spielpassung	125	Verbundtoleranzrahmen	112
Spirallinie	118	Verbundtolerierung	112
Spline-Filter	151, 173	Vollflächige Zone	103
Stecklehre	110	W/U	155, 163
Symmetrietoleranz	90	Welle pro Umdrehung	155
Symmetrietolerierung	96	Wellen pro Umdrehung	151
SZ	38, 111	Wellenlänge	153, 172
Tangentialelement	75, 149	Wellentiefe	172
TED	53	Welligkeit	27
Tertiärer Bezug	69	Welligkeiten	157
Theoretisch exaktes Maß	53	Wendeltreppenform	120
Tiefpassfilter	162	Werkstückoberfläche	152
Toleranzaufweitung	121	Wiederholspannweite	182
Toleranzen	12	Winkelmaß	88
Toleranzpfeil	32	Winkelmaßtolerierung	88
Toleranzrahmen	32	Wirkliche Geometrie	23
Toleranzsymbol	32	Zugeordnete Geometrie	24
Toleranzwert	32	Zusammenbaufähigkeit	125
Toleranzzoneneinschränkung	135	Zweipunktmaß	50
Toleranzzonen-Richtungsanzeiger ...	84	Zylinderförmige Toleranzzone	94
Translatorischer Freiheitsgrad	69	Zylinderformtoleranz	42
Tschebyscheff	34, 75	Zylindrizität	42
Überlagerung von Wellen	153	λ	153
Umlaufende Zone	103		

Eine technische Zeichnung (bzw. ein CAD-Datensatz) muss alle relevanten Angaben enthalten, um eine sichere Funktion, eine kostengünstige Produktion und eine zuverlässige Prüfung eines Werkstücks zu gewährleisten. Eine gute technische Zeichnung ist also funktionsgerecht, fertigungsgerecht und prüfgerecht.

Mit den GPS-Normen – und insbesondere mit den neusten Änderungen in der Normung – wurde eine umfassende formale Beschreibungssprache für geometrische Vorgaben an ein Produkt geschaffen. Damit lassen sich die genannten Anforderungen in einer technischen Zeichnung eindeutig, aufgabengerecht und vollständig umsetzen.

Deshalb werden in diesem Buch die verschiedenen Aspekte der funktions-, fertigungs- und vor allem auch prüfgerechten Bemaßung und Tolerierung von Werkstücken aufgezeigt. Weiterhin wird ein Überblick über das internationale System der GPS-Normen gegeben. Hierbei wird auch auf erweiterte Möglichkeiten zur Definition der Messstrategie in der technischen Zeichnung eingegangen. Weiterhin werden 14 Regeln zur prüfgerechten Tolerierung hergeleitet und erklärt.

Dr. Robert Roithmeier ist bei der Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH zuständig für Wissensmanagement und neue Anwendungsgebiete. Er ist bei AUKOM e.V. verantwortlich für das Schulungskonzept und die AUKOM-Schulungsinhalte und Ausbilder der internationalen AUKOM-Trainer. Er hat drei Fachbücher zur Koordinatenmesstechnik sowie viele Artikel und Buchbeiträge publiziert.



Robert Roithmeier
© Oberkochen Germany 2016
www.zeiss.de/imt



ISBN 978-3-945380-07-9

9 783945 380079

49,90 €

Weiter zur Bestellung im Online-Shop



Carl Zeiss
Industrielle Messtechnik GmbH
73446 Oberkochen
Germany

Vertrieb: +49 7364 20-6336
Service: +49 7364 20-6337
Fax: +49 7364 20-3870
Email: info.metrology.de@zeiss.com
www.zeiss.de/imt