

Prüfgerechte Tolerierung

Maß, Form und Lage

Zusammengestellt von

Robert Roithmeier

Oberkochen – 2020 (3. Auflage)

Eine Publikation der
ZEISS Academy Metrology

Robert Roithmeier: Prüfgerechte Tolerierung – Maß, Form und Lage.
ZEISS Academy Metrology, 2020³

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechts ist ohne Zustimmung der Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH unzulässig und strafbar. Kein Teil dieses Werks darf in irgendeiner Form ohne ausdrückliche Genehmigung der Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH kopiert, reproduziert, übersetzt oder unter Verwendung elektronischer Hilfsmittel verarbeitet und vervielfältigt werden. Zu widerhandlungen verpflichten zu Schadenersatz.

Änderungen in diesem Werk sind vorbehalten. Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH übernimmt keine Garantie für den Inhalt dieses Werks, einschließlich der stillschweigenden Garantie auf handelsübliche Qualität und Eignung für einen bestimmten Zweck. Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH ist in keinem Fall für im Folgenden enthaltene Fehler, zufällige Schäden oder Folgeschäden in Zusammenhang mit der Verwendung dieses Werks haftbar. Alle Produktnamen sind eingetragene Warenzeichen oder Warenzeichen der jeweiligen Eigentümer.

© 2020 Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH
Carl-Zeiss-Straße 22
73447 Oberkochen

Druck und Verlag: Opferkuch GmbH, Ellwangen
ISBN 978-3-945380-26-0 (3. Auflage)

*Etwas messen und prüfen zu können,
ist die Voraussetzung, um es zu verbessern.*

Danksagung

Dieses vorliegende Buch entstand in Zusammenarbeit vieler Kollegen der Carl Zeiss IMT GmbH. Mein Dank gilt insbesondere Günther Hopp für die CALYPSO-Beispiele, Bernd Balle für die Form-und-Lage-Bilder, sowie Hannes Kiehl und Herbert Bux für die fachliche Begleitung. Für das Einbringen zahlreicher Ideen und wertvoller Hinweise danke ich Prof. Ulrich Lunze, Thomas Lindner, Helmut Lüdt, Alessandro Gabbia, Udo Kirin, Dieter Huber und vielen anderen. Frau Prof. Sophie Gröger herzlichen Dank für die Lagerbock-Zeichnungen. Und Walter Blum gebührt besonderer Dank für die Gestaltung des Titelbildes.

Oberkochen, im September 2020 (3. Auflage)
Dr. Robert Roithmeier

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	31
3.1.1 Rundheit	31
3.1.2 Geradheit einer Linie in einer Ebene	33
3.1.3 Geradheit einer Achse	35
3.1.4 Geradheit von Mantellinien	38
3.1.5 Einfaches Linienprofil	40
3.2 Flächenhafte Form.....	41
3.2.1 Zylinderform	41
3.2.2 Ebenheit einer Fläche	43
3.2.3 Ebenheit einer Mittelebene	44
3.2.4 Einfaches Flächenprofil.....	45
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	87
8.1	Ortstolerierung	87
8.1.1	Position einer Ebene.....	89
8.1.2	Position von Achsen	91
8.1.3	Symmetrie	93
8.1.4	Koaxialität und Konzentrizität	95
8.2	Profil mit Bezug	98
8.3	Ort statt Abstand.....	102
9	Lochbild und Verbundtoleranz	107
9.1	Position bei einem Lochbild	107
9.2	Verbundtolerierung.....	111
10	Lauf.....	115
10.1	Lauf an einer Ebene.....	115
10.2	Lauf an einer Mantelfläche.....	117
11	Toleranzausnutzung von Form- und Lagetoleranzen ..	119
11.1	Maximum-Material-Bedingung	119
11.2	Umgekehrte Toleranzausnutzung	127
11.3	Minimum-Material-Bedingung	130
12	Eingeschränkte Toleranzzone und Bezugsbereich.....	133
12.1	Eingeschränkte Toleranzzone	133
12.2	Eingeschränkter Bezugsbereich.....	135
12.3	Projizierte Toleranzzone	138
13	Allgemeintoleranzen	139
14	Zeichnungsangaben zur Messstrategie	145
14.1	Assoziation	145
14.2	Filtreintragungen	147
14.3	Ausflug in die Konturanalyse	148

14.3.1	Digitales Filtern.....	157
14.3.2	Tiefpass: Analyse der Werkstückform	159
14.3.3	Hochpass und Bandpass	164
14.3.4	Anmerkungen zur digitalen Filterung	167
15	Prüfmitteleignung.....	171
15.1	Messsystemanalyse: Fähigkeit und GR&R-Test	177
15.2	GUM und VDA 5	179
16	Schlussbemerkungen.....	181
	Anhang.....	182
A	Weitere Bücher der ZEISS Academy Metrology	182
B	Wichtige ISO-, US- und DIN-Normen	184
C	Literaturquellen ohne Normen.....	189
D	Bilder und Tabellen.....	193
E	Index.....	199

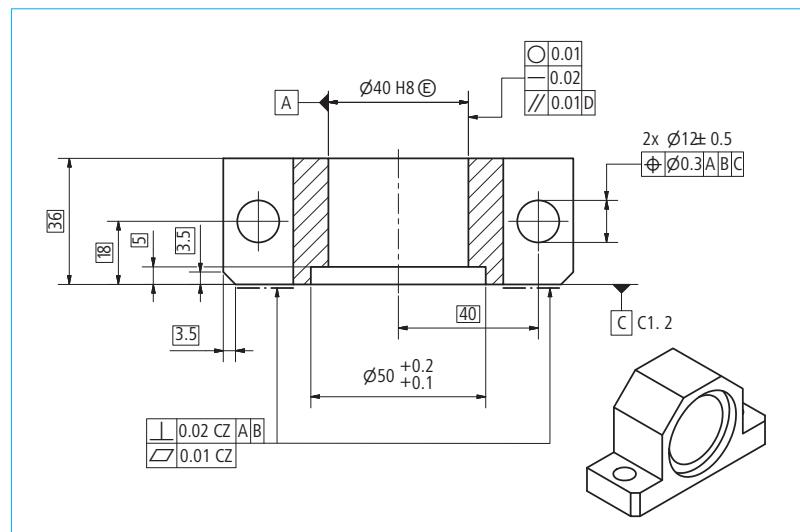
1 Einführung

1.1 Funktions-, fertigungs- und prüfgerechte Konstruktion

Um im internationalen Wettbewerb bestehen zu können, muss die Industrie ihre Produkte zunehmend effizienter erzeugen und damit produktiver werden. Hier kommt insbesondere der Konstruktionszeichnung der zu produzierenden Werkstücke eine Schlüsselrolle zu.

Denn die Konstruktionszeichnung ist in der industriellen Fertigung ein zentrales Dokument zur eindeutigen und vollständigen Produktbeschreibung. Sie ist das wichtigste Kommunikationsmittel zwischen Konstruktion, Entwicklung, Fertigung, Einkauf, Vertrieb und Kunde – weltweit. Dabei ist es unerheblich, ob es sich um eine konventionelle 2D-Konstruktionszeichnung in „Papierform“ (siehe Bild 1) oder um einen digitalen Datensatz handelt [STEINBEIS 2014].

Bild 1: Technische Zeichnung eines Lagerbocks (Auszug)



Hierbei müssen die Zeichnung (bzw. der CAD-Datensatz) alle relevanten Angaben enthalten, um eine sichere Funktion, eine kostengünstige Produktion und eine zuverlässige Prüfung eines Werkstücks zu gewährleisten. Die technische Zeichnung (bzw. die CAD-Beschreibung des Werkstücks) muss also

- funktionsgerecht
- fertigungsgerecht
- prüfgerecht

sein. Insbesondere Letzteres wird gerne übersehen, ist aber mit Basis für die wirtschaftliche Herstellung eines gewünschten Produktes. Deshalb wird sich dieses Buch auch – neben der Funktions- und Fertigungsgerechtigkeit – vor allem der Prüfgerechtigkeit von technischen Zeichnungen und CAD-Beschreibungen widmen.

Den Anstrengungen der internationalen Normungsgremien ist es zu verdanken, dass mit den so genannten GPS-Normen¹ eine umfassende formale Beschreibungssprache für die geometrischen Anforderungen an ein Produkt geschaffen wurden. Damit ist es möglich, in technischen Zeichnungen bzw. CAD-Beschreibungen diese Anforderungen auch vollständig, widerspruchsfrei und eindeutig darzustellen. In den GPS-Normen wurden (und werden weiterhin) eine symbolisierte Sprache und Regeln entwickelt. Damit können alle notwendigen Informationen zur Fertigung, zur Funktion sowie zur Prüfbarkeit in die Zeichnung aufgenommen werden. Das garantiert die Funktion und Montierbarkeit sowie die Prüfbarkeit von Produkten nach der Zeichnungsfreigabe [GRÖGER 2013].

GPS-Normen

¹ GPS = Geometrische Produkt-Spezifikation, Näheres dazu in der [DIN EN ISO 14638]

Außerdem soll mit den GPS-Normen die Kommunikation zwischen den verschiedenen „Welten“ gefördert werden. Diese „Welten“ werden in [DIN EN ISO 22432] wie folgt beschrieben:

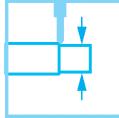
- Produkt, das sich der Konstrukteur vorstellt,
- hergestelltes Produkt und
- gemessenes Produkt.

Funktion



Das Produkt, wie es sich der Konstrukteur vorstellt, ist ein rein funktionales. Alle geometrischen Eigenschaften sind so gewählt, dass sie der gewünschten Funktion dienen. Die zugehörigen Toleranzen (Maß-, Form-, Lage- und Oberflächentoleranzen) sollen Funktion gewährleisten. Hierbei muss das abweichungsbehaftete – also das „ungenaue“ – Werkstück unter Ausnutzung der Toleranzen seine vorgegebene Funktion während der gesamten Gebrauchsduer erfüllen können. Es muss sich entweder unbedingt (d. h., gleiche Teile sind beliebig austauschbar) oder bedingt (d. h., gleiche Teile werden zusortiert oder sind nur gemeinsam austauschbar) montieren lassen [KLEIN 2014]. All dies hat eine funktionsgerechte Zeichnung zu erfüllen.

Fertigung



Das Produkt, wie es gefertigt wird, unterliegt den typischen Abweichungen aus dem Fertigungsprozess. Denn in der Praxis ist es nicht möglich, abweichungsfrei zu fertigen. Die Ursachen für diese Abweichungen sind in den Einflüssen der Materialeigenschaften und der Fertigungsbedingungen (z.B. Werkzeugart, Zerspankraft, Fertigungsge- schwindigkeit, Aufspannung, Eigenspannung des Werkstücks, ...) zu finden. Nichtsdestotrotz muss sich das Werkstück prozessfähig und kostengünstig innerhalb der festgelegten Toleranzen fertigen lassen [KLEIN 2014]. Eine fertigungsgerechte Zeichnung hat dementsprechend andere Ansprüche zu erfüllen: Sie hat die für die Fertigung nötigen

Spannstellen zu beinhalten. Auch muss sie die für die einzelnen Bearbeitungsschritte nötigen Aufmaße berücksichtigen.

Das Produkt, wie es gemessen wird, muss wiederum andere, weitere Kriterien erfüllen. Es muss sich möglichst einfach und sicher prüfen bzw. messen lassen. Dabei müssen die wesentlichen Merkmale für die Funktions- und Montagefähigkeit erfasst werden können [KLEIN 2014]. Alle Toleranzen müssen eindeutig und widerspruchsfrei interpretiert werden können. Denn unvollständige, widersprüchliche und mehrdeutige Tolerierungen führen zu unterschiedlichen, unvergleichbaren Messergebnissen und damit zu unnötigen Diskussionen mit Lieferanten und Nachbarabteilungen. Und was sich nicht zuverlässig prüfen lässt, lässt sich auch nicht zuverlässig fertigen. Beide Zeichnungen, die funktionsgerechte und die eventuell zusätzlich vorhandene fertigungsgerechte, sind deshalb prüfgerecht zu gestalten. Jedoch hat man es hier vor allem mit zwei Problemfeldern zu tun, für die dieses Buch einen Beitrag zur Abhilfe leisten will:

Prüfung



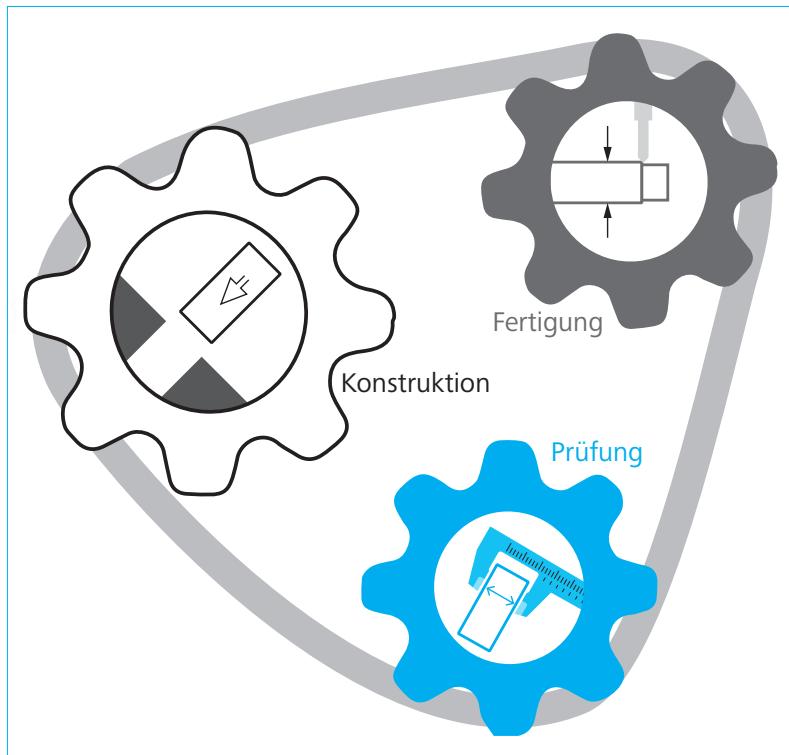
- Erstens gibt es im Bereich der geometrischen Produktspezifikation (GPS) Dutzende Normen mit weit über 2000 Seiten Inhaltstext. Nicht alle am Produktherstellprozess Beteiligten haben all diese Normen gelesen und verstanden. Dies führt dazu, dass tatsächlich nur wenige Beteiligte vollständig erfassen, welche Informationen eine Zeichnung beinhaltet [NPL 79], was die Symbole bedeuten (z.B. 20h7 (GN) ACS 0,2 (SR)) und wie das zu messen ist.
- Zweitens kommt hinzu, dass für gleiche Symbole in einer technischen Zeichnung (z. B. \oplus oder \odot) teilweise unterschiedliche Toleranzinterpretationen und damit Messverfahren gelten, je nach Land und Erstellungsdatum der Zeichnung und damit der zugrundeliegenden Normen.

1.2 Zusammenarbeit der Bereiche



Diesen Herausforderungen im Bereich der funktions-, fertigungs- und prüfgerechten geometrischen Produktspezifikation kann man nur gemeinsam begegnen. Zwar liegt die Verantwortung für die Produktspezifikation immer beim Konstrukteur, aber nur, wenn Konstruktion, Fertigung und Messtechnik an einem Strang ziehen, ist wirtschaftliche Fertigung, hohe Qualität und Funktionssicherheit (auch im Sinne der Produkthaftung) gewährleistet.

Bild 2: Zusammenarbeit in der industriellen Produktion



Im Lauf der Produktentstehung ist deshalb die Kommunikation zwischen den einzelnen Ablaufschritten von elementarer Bedeutung. Insbesondere die Messtechnik ist nicht nur ein nachgelagerter Messprozess am Endprodukt, sondern auch ein Prozessschritt der Konstruktion. Dem GPS-System folgend sollten Tolerierungs- und Messfähigkeitsaspekte in allen Schritten der Konstruktion, Fertigung und Prüfung berücksichtigt werden. Es ist zumeist wesentlich teurer, eine Konstruktionszeichnung erst später zu ändern, wenn sich z.B. herausgestellt hat, dass ein gewünschtes Funktionsmerkmal gar nicht wie geplant messbar ist [NPL 79] oder nicht die gewünschten Informationen liefert.

Notwendigkeit der Kommuni- kation

In den folgenden Kapiteln werden verschiedene Aspekte der funktions-, fertigungs- und vor allem auch prüfgerechten Bemaßung und Tolerierung von Werkstücken aufgezeigt. Weiterhin wird ein grober Abriss über das internationale System der GPS-Normen gegeben. Hierbei wird auch auf erweiterte Möglichkeiten zur Definition der Messstrategie in der technischen Zeichnung eingegangen.

Insbesondere werden 14 Regeln zur prüfgerechten Tolerierung hergeleitet, die hier schon mal kurz erwähnt sind:

14 Regeln der Analysefähigkeit

→ 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. (Seite 25ff)

→ Regel R2: Prüfgerechte Größenmaßtolerierung

Die Tolerierung von Größenmaßen ist durch Angabe von Modifikatoren aufgabengerecht zu gestalten. Dies ermöglicht durch die

eindeutigen Vorgaben an die Messtechnik strukturell besser vergleichbare Messergebnisse. Und es erlaubt zielgerichtete funktions-, fertigungs- und prüfgerechte Tolerierung. (Seite 47ff)

- Regel R3: Prüfgerechte Unabhängigkeits- und Hüllbedingung
Die getrennte Prüfung der Maß- und Formtoleranzen hilft der Fertigung (Unabhängigkeitsbedingung). Nur da, wo aus der Funktion heraus die Hüllbedingung einzuhalten ist, ist die Größenmaßtoleranz mit \oplus zu kennzeichnen. Dies ist einer Verkleinerung der einzelnen Maß- und Formtoleranzen immer vorzuziehen. Die Hüllbedingung an allen Maßen zu fordern, wäre weder zielführend noch ökonomisch. Statt der Angabe \oplus die einzelnen Maß- und Formtoleranzbreiten zu verringern, um „auf der sicheren Seite zu sein“, würde den Produktions- und Prüfaufwand unnötig erhöhen. (Seite 53ff)
- Regel R4: Prüfgerechter Bezug
Ein Bezug ist nur dann stabil und analysefähig, wenn seine Formabweichung deutlich geringer als die Abweichung des zu tolerierenden Elementes ist. Auch sind Bezüge so zu wählen, dass sie gut ausgeprägt sind, für die Messung zugänglich sind, und die Entfernung zwischen Bezugselement und toleriertem Element nicht zu groß wird. (Seite 61ff)
- Regel R5: Prüfgerechte Richtungstolerierung
Statt der Verwendung von Winkelmaßtoleranzen ist zu kontrollieren, ob diese durch Neigungstoleranzen ersetzt werden können. Diese sind im Allgemeinen besser zu prüfen, insbesondere im Bereich Nahe des Winkelscheitels. Die Neigungstoleranz erlaubt ferner separate Aussagen über das Bezugselement und das tolerierte Element. (Seite 75ff)

ROITHMEIER 2004

Roithmeier, R.: Herstellerneutrale Ausbildung in der Koordinatenmess-technik. In: Präzisionsmesstechnik in der Fertigung mit Koordinatenmess-geräten. Renningen-Malmsheim: expert verlag, 2004. S. 473 – 502

ROITHMEIER 2014

Roithmeier, R.: Messstrategien in der taktilen Koordinatenmesstechnik. Ellwangen: Druckerei Opferkuch GmbH, 2014. 3. Auflage.

SCHÜTTE 1995

Schütte, W.: Methodische Form- und Lagetolerierung. Dissertation. Pa-derborn: Universität-Gesamthochschule, 1995

SEEWIG 2000

Seewig, J.: Praxisgerechte Signalverarbeitung zur Trennung der Gestalt-abweichungen technischer Oberflächen. Dissertation. Aachen: Shaker Verlag, 2000

STEINBEIS 2014

Steinbeis-Transfer-Zentrum: Internetveröffentlichung: Kosten senken und Risiken minimieren durch normkonforme Konstruktionszeichnun-gen. http://www.stz-pm.de/fileadmin/content/Infoblatt_-_Normkonforme_Konstruktionszeichnungen_01.pdf (Stand: 10/2015)

E Index

(A).....	36	0-M-Tolerierung	128
(AD).....	142	3-2-1-Bezug	71
(CA).....	48	3-2-1-Regel	71
(CC).....	48	Ablaufdauer	175
(CV).....	48	Abstandstolerierung	102
(E)	54, 58, 125, 139	Abweichungen.....	12
(F).....	73	Achse.....	36
(GC).....	49	ACS.....	32, 96, 116
(GG).....	48	Allgemeintoleranz	139
(GN).....	48, 59	ALS	34
(GX).....	48, 59	Altered Default.....	142
(I)	57	Amplitide	166
(LP).....	48	Amplitude	149
(LS).....	48	Analysefähiger Bezug	63
(M).....	107, 119, 120	Antastabweichung	175
(P)	138	Any Cross Section.....	32, 116
(R).....	127	Any Longitudinal Section.....	34
(S)	132	Anzeiger für Richtung.....	80
(SA).....	50	Anzeiger für Schnittebene	80
(SD).....	50	Arbeitsfolgenbezogener	
(SM).....	50	Produktionsbezug.....	63
(SN).....	50, 59	ASME Y14.5.....	22, 43, 119
(SR)	50	ASME-Regel Nr. 1.....	55
(SX)	50, 59	ASME-Regel Nr. 2.....	33
(T)	78	Assoziationskriterium.....	145
(U).....	99	At-Line-Prüfung.....	53
[CF]	73	AUKOM	19
[DF]	73	Äußere Hülle	54
[DV].....	73	Äußere Tangentialebene.....	88, 145
[PL].....	136	Äußeres Tangentialelement	72
[PT].....	136	Auswertemethode.....	33
[SL].....	136	Auswerteverfahren	145
[u,v,w].....	136	AVG.....	50
[x,y,z]	136	Bandpassfilter.....	157
><.....	109, 136	Bemaßungsursprung	105
0-L-Tolerierung.....	131	Bezug.....	61

Bezugsdreieck	61	DIN EN ISO 8015	53
Bezugselement	61	DIN EN ISO 8062	141
Bezugsmittelebene	87	DIN EN ISO 9013	141
Bezugsmittellinie	87	DIN ISO 2768	139
Bezugsmittelpunkt	87	Dreh-/Schwenkgelenk	175
Bezugsrahmen	61	Drehtisch	175
Bezugsreihenfolge	70	Dreibogengleichdickform	152
Bezugsstelle	71	Drei-Ebenen-Bezugssystem	69
Bezugssystem	66	Durchmesserzeichen	35
Bohrbild	107	Ebenheitsabweichung	25
C	145	Ebenheitstoleranz einer Fläche	43
CAD-Datensatz	11	Ebenheitstoleranz einer Mittelebene ..	44
Combined Zone	37, 43	Echtzeit-Spektralanalyse	155
CZ	37, 43, 109	Eignung	176
Digitales Filtern	157	Eingeschränkte Toleranzzone	133
Dimension Origin	105	Eingeschränkter Bezugsbereich	135
DIN 16742	141	Erfasste Geometrie	22
DIN 3302	141	Exzentrizität	152
DIN 40680	141	F	147
DIN 4760	25	Fähigkeit	173, 177
DIN 6930-2	141	Feinzeiger	116
DIN 71606	141	Fertigung	12
DIN 7167	55	Fertigungsabweichungen	26
DIN 7526	141	Filter	147
DIN 7527	141	Filternachlaufstrecke	161
DIN 7715-1	141	Filtervorlaufstrecke	161
DIN EN 10243	141	Flächenprofiltoleranz	45
DIN EN 12020	141	Formabweichung	25
DIN EN 586-3	141	Formabweichungsfreie Achse ..	81, 92,
DIN EN 755-9	141	94, 97	
DIN EN ISO 1	29	Formabweichungsfreie Mittelebene ..	78
DIN EN ISO 10579	73	Formprüfgerät	32
DIN EN ISO 1101	37	Formtolerierung	25
DIN EN ISO 13920	141	Fourier-Analyse	147, 155
DIN EN ISO 14253	171	Freier Zustand	73
DIN EN ISO 14405	47	Freiformfläche	45
DIN EN ISO 16610	167, 168	Freiheitgrad	136
DIN EN ISO 22432	12	Freiheitsgrad	66
DIN EN ISO 2692	119	Funktion	12
DIN EN ISO 286	47	G	146, 147
DIN EN ISO 5459	69, 73	Gauß Bestfit	48

Gaußebene	146	Innere Hülle.....	54
Gaußfilter	147	Innerer Bezug.....	108
Gaußkreis	146	Invokationsprinzip	142
Gaußzyylinder	146	ISA.....	21
GD&T	22	ISO.....	21
Gemeinsame Toleranzzone	37	ISO/IEC Guide 98-3	179
Gemeinsamer Bezug	71	ISO-Gremien	142
Genauigkeit.....	171	ISO-Maßtoleranzsystem.....	47
Geometrische Produktspezifikation ...	13	ISO-Toleranzfeld.....	47
Geradheitsabweichung	25	Kandidatenmethode.....	72
Geradheitstoleranz einer Achse.....	35	Kartesisches Koordinatensystem	69
Geradheitstoleranz einer Ebene.....	33	Kleinste-Quadrate-Methode	48
Geradheitstoleranz einer Kante	35	Koaxialitätstoleranz	87
Geradheitstoleranz von Mantellinien.	38	Koaxialitätstoleranz	95
Gesamtplanlauftolerierung.....	115	Kollektionsanzeiger	100
Gesamtrundlauftolerierung.....	117	Kombinierte Toleranzzone	37, 43
Gleichdickform	147	Kompensator	132
Goldene Regel der Messtechnik	173	Konstruktionszeichnung	10
GPS	142	Kontur	148
GPS-Normen	11	Konzentritätstoleranz	87
GPS-Normenkette.....	142	Konzentritätstoleranz	95
GPS-System	11, 142	Koordinatenmessgerät	32, 171
GR&R-Test	177	Koplanarität	37
Grenzwellenlänge.....	147, 158	Kugelförmige Toleranzzone	93
Grenzwellenzahl	158	Kuppen	25
Größenmaßtolerierung	47	L	130
Grundtoleranz	47	Lageabweichung.....	25
GUM	179	Lagetoleranz	75
Haarlineal	34	Lambda.....	149
Harmonische	152	Längenmessabweichung	173, 175
Harmonische Schwingung	147	Laufabweichung.....	25
Helixbahn	118	Lauftoleranz	115
Hinweispfeil.....	31	Least Material Condition.....	130
Hochpassfilter.....	157	Least Material Requirement	130
Höchstzulässige Abweichung.....	88	Lehre.....	54, 125
Hüllbedingung.....	53, 54	Linienprofiltoleranz.....	40
Hüllelement	88	LMC	130
Hüllkreis	48, 145	LMR	130
Hüllprinzip	53	Lochbild	107
Hüllzylinder.....	48, 145	Lochgerade	107
In-Line-Prüfung.....	53	LSCI	146

LSCO	146	Ohne Form.....	81, 92, 94, 97
LSCY	146	Ort.....	87
LSPL	146	Ortsanweichung.....	25
Mantellinie	36, 39, 82	Ortsstoleranz.....	87
Maßabweichung	25	OTPL	145
Maßkette	103	Ovalität	152
Maßtolerierung eines Abstandes.....	102	OZ	100
Maximal zulässige Messabweichung	173	Paarungsfähigkeit.....	125
Maximum Material Condition	119	Parallelitätstoleranz	75
Maximum Material Requirement.....	119	Passungsfähigkeit.....	125
Maximum Permissible Error.....	173	Peak.....	154
Maximum-Material-Bedingung	107, 119	Pfeil	109
MCCI	145	Pferchelement.....	88
MCCY	145	Pferchkreis	48, 145
Mehrfachtaster	175	Pferchzylinder.....	48, 145
Mehrwellennormal	153	Planlauftolerierung	115
Messmittelfähigkeit	173	Position einer Achse	91
Messsystemanalyse.....	177	Positionstoleranz	87
Messuhr	116	Primärer Bezug	66
Messunsicherheit.....	171	Profiltoleranz	98
MICI	145	Projektionsmethode 1	30
MICY.....	145	Projektionsmethode 3	30
Minimum-Material-Bedingung.....	130	Projizierte Toleranzzone	138
Mittelebene.....	36	Prüfgerechter Bezug	63
MMC	119	Prüfgerechter Bezug	73
MMR.....	119	Prüfmitteleignung	171
Modifikator	48	Prüfprozess	173
Morphologische Filter.....	167	Prüfprozessfähigkeit	173
MPE	173	Prüfung	13
N	145	Punktwolke	22
NC	64	Querprofil	164
Neigungstoleranz	75	Rangordnungsmaß	50
Nenngeometrie	22	Rattermarke	153
Nennmaß.....	47	Rattermarken	25
Nicht konvex	64	Rauheit	25
Nur Richtung.....	109	Rauheiten	153
Obere Toleranzgrenze	47	Rauheitsprüfung	164
Oberes Abmaß	47	R-Bedingung	127
Oberflächenprüfung	164	Rechtwinkligkeitstoleranz	75
Off-Line-Prüfung	53	Referenztemperatur	29
Offset-Zone	100	Regardless of Feature Size	132

Reziprozitätsbedingung	127
RFS.....	132
Richtung.....	75
Richtungsabweichung	25
Richtungsanzeiger	80
Richtungstoleranz.....	75
Riefen.....	25, 153
Rillen.....	25, 153
Risse.....	25
Robuste Gaußfilter.....	168
Rotatorischer Freiheitsgrad	66
RPS-System.....	72
Rundheitsabweichung	25
Rundheitstoleranz.....	31
Rundherum (Profil).....	100
Rundlauf axial.....	115
Rundlauf radial	117
Rundlauftolerierung.....	117
Rundum (Profil).....	100
S	147
SØ	93
Scanningantastabweichung	175
Scanningzeit	175
Schnittebenenanzeiger	80
Schuppen	25
Schwimmende Tolerierung	38, 108
SCS	51
Sekundärer Bezug.....	66
Separate Zone	37
SØ.....	46
Spektralanalyse.....	148
Spektrum.....	148
Sphärischer Durchmesser	46
Spielpassung.....	125
Spirallinie	116
Spline-Filter.....	147, 167
Stecklehre.....	107
Symmetrietoleranz	87
Symmetrietolerierung	93
SZ.....	37, 109
T	145
Tangentialelement.....	72, 145
TED	51
Tertiärer Bezug	66
Theoretisch exaktes Maß	51
Tieppassfilter.....	157
Toleranzausnutzung	119
Toleranzen	12
Toleranzindikator.....	31
Toleranzsymbol	31
Toleranzwert	31
Toleranzzoneneinschränkung	134
Toleranzzonen-Richtungsanzeiger.....	80
Translatorischer Freiheitsgrad	66
Tschebyscheff.....	33, 72
Überlagerung von Wellen	149
UF	100
Umlaufende Zone.....	100
Umschlagsmessung	82
Unabhängigkeitsbedingung	53
Unabhängigkeitssprinzip	53
Unsymmetrische Zone	90, 99
Untere Toleranzgrenze	47
Unteres Abmaß	47
UPR.....	158
UZ	90, 99
VDA 5	179
VDI/VDE 2601	25
Veränderliche Toleranzzone.....	134
Verbundtoleranz	111
Verbundtoleranzrahmen	111
Verbundtolerierung	111
Vollflächige Zone.....	100
W/U	147, 151, 158
Welle pro Umdrehung	151
Wellen pro Umdrehung	147
Wellenlänge	149, 166
Wellentiefe	166
Welligkeit	25
Welligkeiten	153
Wendeltreppenform	118

Werkstückoberfläche	148	Zugeordnete Geometrie	22
Wiederholspannweite.....	175	Zusammenbaufähigkeit	125
Winkelmaß.....	84	Zweipunktmaß.....	48
Winkelmaßtolerierung	84	Zylinderförmige Toleranzzone.....	91
Wirkliche Geometrie.....	22	Zylinderformtoleranz	41
X.....	145	Zylindrizität	41
		λ.....	149