

Prüfgerechte Tolerierung Maß, Form und Lage

Zusammengestellt von

Robert Roithmeier

Oberkochen – 2020 (3. Auflage)

Eine Publikation der
ZEISS Academy Metrology

Robert Roithmeier: Prüfunggerechte 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. Zuwiderhandlungen 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 Ludt, 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	Filtereintragungen	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	Prüfmittleignung.....	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

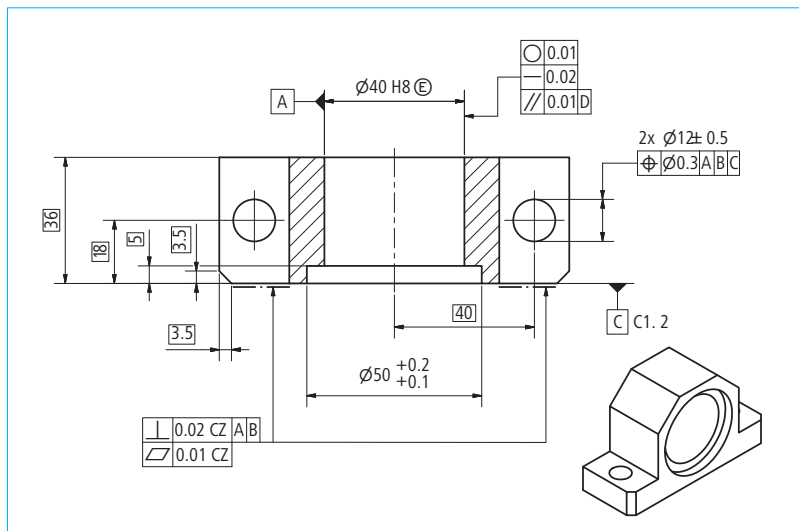
1 Einführung

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:

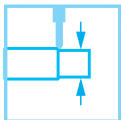
- Produkt, das sich der Konstrukteur vorstellt,
- hergestelltes Produkt und
- gemessenes Produkt.

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 „ungenauere“ – Werkstück unter Ausnutzung der Toleranzen seine vorgegebene Funktion während der gesamten Gebrauchsdauer 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, Fertigungsgeschwindigkeit, 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



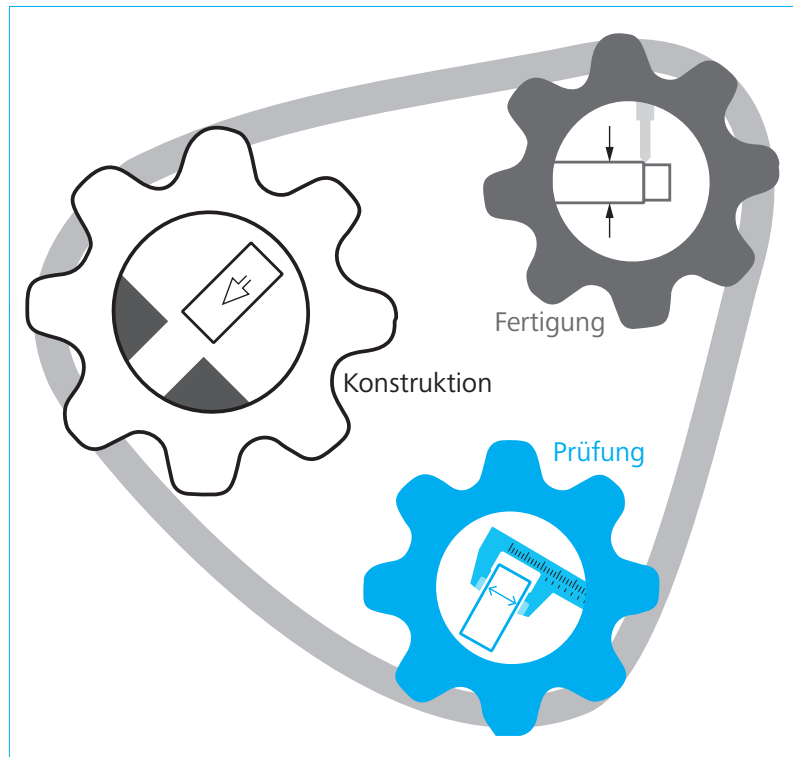
- Erstens gibt es im Bereich der geometrischen Produktspezifikation (GPS) Dutzende Normen mit weit über 2000 Seiten Inhaltstext. Nicht alle am Produktherstellprozess Beteiligten haben all diese Normen gelesen und verstanden. Dies führt dazu, dass tatsächlich nur wenige Beteiligte vollständig erfassen, 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. ⊕ oder ⊗) 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 \textcircled{E} 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 \textcircled{E} 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 Koordinatenmesstechnik. In: Präzisionsmesstechnik in der Fertigung mit Koordinatenmessgeräten. 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. Paderborn: Universität-Gesamthochschule, 1995

SEEWIG 2000

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

STEINBEIS 2014

Steinbeis-Transfer-Zentrum: Internetveröffentlichung: Kosten senken und Risiken minimieren durch normkonforme Konstruktionszeichnungen. 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	Amplitude	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
Bezugsselement.....	61	DIN EN ISO 8062	141
Bezugsmittlebene	87	DIN EN ISO 9013	141
Bezugsmittellinie	87	DIN ISO 2768.....	139
Bezugsmittelpunkt.....	87	Dreh-/Schwenkgelenk	175
Bezugsrahmen	61	Drehtisch	175
Bezugsreihenfolge	70	Dreibogengleich dickform	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, 94, 97
DIN EN 755-9.....	141	Formabweichungsfreie Mittelebene...78	
DIN EN ISO 1.....	29	Formprüfgerät.....	32
DIN EN ISO 10579.....	73	Formtolerierung	25
DIN EN ISO 1101	37	Fourier-Analyse	147, 155
DIN EN ISO 13920.....	141	Freier Zustand	73
DIN EN ISO 14253.....	171	Freiformfläche.....	45
DIN EN ISO 14405.....	47	Freiheitsgrad	136
DIN EN ISO 16610.....	167, 168	Freiheitsgrad	66
DIN EN ISO 22432.....	12	Funktion	12
DIN EN ISO 2692.....	119	G	146, 147
DIN EN ISO 286.....	47	Gauß Bestfit.....	48
DIN EN ISO 5459.....	69, 73		

Gaußebene	146	Innere Hülle.....	54
Gaußfilter	147	Innerer Bezug.....	108
Gaußkreis	146	Invokationsprinzip	142
Gaußzylinder	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
Gesamtplanauftolerierung.....	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
Hinweisfeil.....	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	Ortsabweichung.....	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	Planauftolerierung	115
Messmittelfähigkeit	173	Position einer Achse	91
Messsystemanalyse.....	177	Positionstoleranz	87
Messuhr	116	Primärer Bezug.....	66
Messunsicherheit.....	171	Profilstoleranz.....	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	Prüfmittleignung	171
Modifikator	48	Prüfprozess	173
Morphologische Filter.....	167	Prüfprozessfähigkeit	173
MPE	173	Prüfung.....	13
N	145	Punktewolke	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	T	145
RFS	132	Tangentialelement.....	72, 145
Richtung	75	TED	51
Richtungsabweichung	25	Tertiärer Bezug	66
Richtungsanzeiger	80	Theoretisch exaktes Maß	51
Richtungstoleranz	75	Tiefpassfilter	157
Riefen.....	25, 153	Toleranzausnutzung	119
Rillen	25, 153	Toleranzen	12
Risse	25	Toleranzindikator.....	31
Robuste Gaußfilter.....	168	Toleranzsymbol	31
Rotatorischer Freiheitsgrad	66	Toleranzwert	31
RPS-System.....	72	Toleranzzoneneinschränkung	134
Rundheitsabweichung	25	Toleranzzonen-Richtungsanzeiger.....	80
Rundheitstoleranz.....	31	Translatorischer Freiheitsgrad	66
Rundherum (Profil).....	100	Tschebyscheff.....	33, 72
Rundlauf axial	115	Überlagerung von Wellen	149
Rundlauf radial	117	UF	100
Rundlauftolerierung	117	Umlaufende Zone.....	100
Rundum (Profil).....	100	Umschlagsmessung	82
S	147	Unabhängigkeitsbedingung	53
∅	93	Unabhängigkeitsprinzip	53
Scanningantastabweichung	175	Unsymmetrische Zone	90, 99
Scanningzeit	175	Untere Toleranzgrenze	47
Schnittebenenanzeiger	80	Unteres Abmaß	47
Schuppen	25	UPR.....	158
Schwimmende Tolerierung	38, 108	UZ.....	90, 99
SCS	51	VDA 5	179
Sekundärer Bezug.....	66	VDI/VDE 2601	25
Separate Zone	37	Veränderliche Toleranzzone	134
SØ	46	Verbundtoleranz	111
Spektralanalyse.....	148	Verbundtoleranzrahmen.....	111
Spektrum.....	148	Verbundtolerierung	111
Sphärischer Durchmesser.....	46	Vollflächige Zone.....	100
Spieelpassung.....	125	W/U	147, 151, 158
Spirallinie.....	116	Welle pro Umdrehung	151
Spline-Filter.....	147, 167	Wellen pro Umdrehung.....	147
Stecklehre.....	107	Wellenlänge	149, 166
Symmetrietoleranz.....	87	Wellentiefe.....	166
Symmetrietolerierung	93	Welligkeit.....	25
SZ.....	37, 109	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