

DIN EN ISO 5463



ICS 17.040.30; 17.040.40

Einsprüche bis 2023-10-04

Entwurf**Geometrische Produktspezifikationen (GPS) –
Formmessgeräte; Formmessgeräte mit Drehachse –
Konstruktion und messtechnische Eigenschaften (ISO/DIS 5463:2023);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 5463:2023**

Geometrical product specifications (GPS) –
Form measuring equipment; Rotary axis form measuring instruments –
Design and metrological characteristics (ISO/DIS 5463:2023);
German and English version prEN ISO 5463:2023

Spécification géométrique des produits (GPS) –
Équipements de mesure de forme; Instruments de mesure de forme à plateau tournant –
Caractéristiques de conception et caractéristiques métrologiques (ISO/DIS 5463:2023);
Version allemande et anglaise prEN ISO 5463:2023

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-08-04 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an natg@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 118 Seiten

DIN-Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 5463:2023) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 213 „Dimensional and geometrical product specifications and verification“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 290 „Geometrische Produktspezifikationen und -prüfung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Unterausschuss NA 152-03-02-13 UA „Formmesstechnik (VDI/VDE-GMA FA 4.21)“ im DIN-Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 1	siehe	DIN EN ISO 1
ISO 1101	siehe	DIN EN ISO 1101
ISO 3274:1996	siehe	DIN EN ISO 3274:1998-04
ISO 3650	siehe	DIN EN ISO 3650
ISO 5436-1:2000	siehe	DIN EN ISO 5436-1:2000-11
ISO 5436-2:2012	siehe	DIN EN ISO 5436-2:2013-04
ISO 5459:2011	siehe	DIN EN ISO 5459:2013-05
ISO 9493	siehe	DIN EN ISO 9493
ISO 10360-1:2000	siehe	DIN EN ISO 10360-1:2001-03
ISO 10360-2:2009	siehe	DIN EN ISO 10360-2:2010-06
ISO 10360-5:2010	siehe	DIN EN ISO 10360-5:2011-01
ISO 12179:2000	siehe	DIN EN ISO 12179:2000-11
ISO 12180-1	siehe	DIN EN ISO 12180-1
ISO 12180-2	siehe	DIN EN ISO 12180-2
ISO 12181-1	siehe	DIN EN ISO 12181-1
ISO 12181-2	siehe	DIN EN ISO 12181-2
ISO 12780-1	siehe	DIN EN ISO 12780-1
ISO 12780-2	siehe	DIN EN ISO 12780-2
ISO 12781-1	siehe	DIN EN ISO 12781-1
ISO 14253-1	siehe	DIN EN ISO 14253-1
ISO 14253-2:2011	siehe	DIN EN ISO 14253-2:2018-09
ISO 14253-5	siehe	DIN EN ISO 14253-5
ISO 14406:2010	siehe	DIN EN ISO 14406:2011-04
ISO 14638:2015	siehe	DIN EN ISO 14638:2015-12
ISO 14978	siehe	DIN EN ISO 14978
ISO 16610-21	siehe	DIN EN ISO 16610-21
ISO 25178-2:2012	siehe	DIN EN ISO 25178-2:2012-09
ISO 25178-6:2010	siehe	DIN EN ISO 25178-6:2010-06
ISO 25178-601:2010	siehe	DIN EN ISO 25178-601:2011-01

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 1, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Standardreferenztemperatur für die Spezifikation der geometrischen und maßlichen Eigenschaften*

DIN EN ISO 1101, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Geometrische Tolerierung — Tolerierung von Form, Richtung, Ort und Lauf*

DIN EN ISO 3274:1998-04, *Geometrische Produktspezifikationen (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Nenneigenschaften von Tastschnittgeräten (ISO 3274:1996); Deutsche Fassung EN ISO 3274:1997*

DIN EN ISO 3650, *Geometrische Produktspezifikationen (GPS) — Längennormale — Parallelendmaße*

DIN EN ISO 5436-1:2000-11, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren; Normale — Teil 1: Maßverkörperungen (ISO 5436-1:1999); Deutsche Fassung EN ISO 5436-1:2000*

DIN EN ISO 5436-2:2013-04, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren; Normale — Teil 2: Software-Normale (ISO 5436-2:2012); Deutsche Fassung EN ISO 5436-2:2012*

DIN EN ISO 5459:2013-05, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Geometrische Tolerierung — Bezüge und Bezugssysteme (ISO 5459:2011); Deutsche Fassung EN ISO 5459:2011*

DIN EN ISO 9493, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Längenmessgeräte: Fühlhebelmessgeräte — Konstruktionsmerkmale und messtechnische Merkmale*

DIN EN ISO 10360-1:2001-03, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG) — Teil 1: Begriffe (ISO 10360-1:2000) — Deutsche Fassung EN ISO 10360-1:2000*

DIN EN ISO 10360-2:2010-06, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG) — Teil 2: KMG angewendet für Längenmessungen (ISO 10360-2:2009); Deutsche Fassung EN ISO 10360-2:2009*

DIN EN ISO 10360-5:2011-01, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG) — Teil 5: Prüfung der Antastabweichungen von KMG mit berührendem Messkopfsystem (ISO 10360-5:2010); Deutsche Fassung EN ISO 10360-5:2010*

DIN EN ISO 12179:2000-11, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Kalibrierung von Tastschnittgeräten (ISO 12179:2000); Deutsche Fassung EN ISO 12179:2000*

DIN EN ISO 12180-1, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Zylindrizität — Teil 1: Begriffe und Kenngrößen der Zylinderform*

DIN EN ISO 12180-2, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Zylindrizität — Teil 2: Spezifikationsoperatoren*

DIN EN ISO 12181-1, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Rundheit — Teil 1: Begriffe und Kenngrößen der Rundheit*

DIN EN ISO 12181-2, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Rundheit — Teil 2: Spezifikationsoperatoren*

DIN EN ISO 12780-1, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Geradheit — Teil 1: Begriffe und Kenngrößen der Geradheit*

DIN EN ISO 12780-2, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Geradheit — Teil 2: Spezifikationsoperatoren*

DIN EN ISO 12781-1, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Ebenheit — Teil 1: Begriffe und Kenngrößen der Ebenheit*

DIN EN ISO 14253-1, *Geometrische Produktspezifikationen (GPS) — Prüfung von Werkstücken und Messgeräten durch Messen — Teil 1: Entscheidungsregeln für den Nachweis von Konformität oder Nichtkonformität mit Spezifikationen*

DIN EN ISO 14253-2:2018-09, *Geometrische Produktspezifikationen (GPS) — Prüfung von Werkstücken und Messgeräten durch Messen — Teil 2: Anleitung zur Schätzung der Unsicherheit bei GPS-Messungen, bei der Kalibrierung von Messgeräten und bei der Produktprüfung (ISO 14253-2:2011); Deutsche Fassung EN ISO 14253-2:2011*

DIN EN ISO 14253-5, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Prüfung von Werkstücken und Messgeräten durch Messen — Teil 5: Unsicherheit bei der Verifikationsprüfung von anzeigenden Messgeräten*

DIN EN ISO 14406:2011-04, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Erfassung (ISO 14406:2010); Deutsche Fassung EN ISO 14406:2010*

DIN EN ISO 14638:2015-12, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Matrix-Modell (ISO 14638:2015); Deutsche Fassung EN ISO 14638:2015*

DIN EN ISO 14978, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Allgemeine Grundsätze und Anforderungen für GPS-Messeinrichtungen*

DIN EN ISO 16610-21, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Filterung — Teil 21: Lineare Profilfilter: Gauß-Filter*

DIN EN ISO 25178-2:2012-09, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Flächenhaft — Teil 2: Begriffe und Oberflächen-Kenngrößen (ISO 25178-2:2012); Deutsche Fassung EN ISO 25178-2:2012*

DIN EN ISO 25178-6:2010-06, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Flächenhaft — Teil 6: Klassifizierung von Methoden zur Messung der Oberflächenbeschaffenheit (ISO 25178-6:2010); Deutsche Fassung EN ISO 25178-6:2010*

DIN EN ISO 25178-601:2011-01, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Flächenhaft — Teil 601: Merkmale von berührend messenden Geräten (mit Taster) (ISO 25178-601:2010); Deutsche Fassung EN ISO 25178-601:2010*

August 2023

prEN ISO 5463

Geometrische Produktspezifikationen (GPS) – Formmessgeräte; Formmessgeräte mit Drehachse – Konstruktion und messtechnische Eigenschaften (ISO/DIS 5463:2023)

Geometrical product specifications (GPS) – Form measuring equipment; Rotary axis form measuring instruments – Design and metrological characteristics (ISO/DIS 5463:2023)

Spécification géométrique des produits (GPS) – Équipements de mesure de forme; Instruments de mesure de forme à plateau tournant – Caractéristiques de conception et caractéristiques métrologiques (ISO/DIS 5463:2023)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	9
3.1 Allgemeine Begriffe	9
3.2 Begriffe im Zusammenhang mit dem Messkopfsystem	11
4 Konstruktionsmerkmale	12
4.1 Allgemeines	12
4.2 Typen von Formmessgeräten mit Drehachse	12
4.2.1 Allgemeines	12
4.2.2 Gerät für drehende Werkstücke	12
4.2.3 Gerät für unbewegliche Werkstücke	13
4.3 Konstruktionsmerkmale des Messkopfs	16
4.3.1 Berührender Messkopf	16
5 Messtechnische Eigenschaften	17
5.1 Allgemeines	17
5.2 Anforderungen an die Umwelt	17
5.2.1 Allgemeines	17
5.2.2 Umweltbedingungen	17
5.2.3 Betriebsbedingungen	18
5.3 Verfahren zum Aufteilen der Abweichungen	18
5.4 Eigenschaften des Messkopfs	18
5.4.1 Referenzpunkt	18
5.4.2 Abweichung des Messkopfs	18
6 Bestimmung der Konformität mit der Spezifikation	21
6.1 Allgemeines	21
6.2 Messunsicherheit	21
6.3 Entscheidungsregel	22
Anhang A (normativ) Konstruktion und messtechnische Eigenschaften von Geräten für drehende Werkstücke	23
A.1 Konstruktionsmerkmale	23
A.2 Messtechnische Eigenschaften	24
A.2.1 Radiale Abweichung	24
A.2.2 Axiale Abweichung	28
A.2.3 Abweichung der Geradheit in Längsrichtung	31
A.2.4 Parallelitätsabweichung	34
A.2.5 Abweichung der Geradheit in Querrichtung	39
A.2.6 Rechtwinkligkeitsabweichung	42
A.2.7 Messtechnische Eigenschaften (Spezifikation des Lieferanten)	43
Anhang B (informativ) Messartefakte für messtechnische Eigenschaften	45
B.1 Normale für Verstärkungseinstellungen oder die Bestätigung der Abweichung des Messkopfs	45
B.1.1 Parallelendmaße (auf einer Bezugsebene)	45
B.1.2 Tiefeneinstellnormal	45
B.1.3 Flicknormal (oder Vergrößerungsnormal)	46
B.1.4 Vergrößerungskalibrator (schraubengetriebener Reduzierhebel oder Messuhrkalibrator)	47
B.1.5 Kombination aus Verschiebungsaktor und Längskalibriergerät	48
B.2 Rundheitsnormal	48

B.3	Ebenheitsnormal	48
B.4	Geradheitsnormal	49
B.5	Zylindernormal	49
Anhang C	(informativ) Dynamisches Übertragungsverhalten des Messkopfes	50
C.1	Allgemeines	50
C.2	Faktoren, die das Gesamtübertragungsverhalten des Messgerätes beeinflussen.	50
C.2.1	Tastelement	50
C.2.2	Datenerfassungssystem	50
C.2.3	Filter für die Analyse	51
C.3	Prüfung des Übertragungsverhaltens des Messkopfes	51
C.3.1	Allgemeines	51
C.3.2	Piezo-Wandler	51
C.3.3	Prüfung durch Maßverkörperungen	51
Anhang D	(informativ) Beispiel für ein Prüfprotokoll	54
Anhang E	(informativ) Unwesentliche Geräteeigenschaften	55
Anhang F	(informativ) Andere Arten von Messköpfen	56
F.1	Andere Arten von berührenden Messköpfen	56
F.2	Berührungsloser Messkopf	56
Anhang G	(informativ) Zusammenhang mit dem GPS-Matrix-Modell	58
Literaturhinweise		60

Bilder

Bild 1	— Messkoordinatensystem	10
Bild 2	— Zentrieren	10
Bild 3	— Nivellieren	11
Bild 4	— Gerät für drehende Werkstücke mit vertikaler Achse	12
Bild 5	— Gerät für drehende Werkstücke mit horizontaler Achse	13
Bild 6	— Gerät für unbewegliche Werkstücke mit vertikaler Achse	14
Bild 7	— Gerät für unbewegliche Werkstücke mit horizontaler Achse	15
Bild 8	— Einführöffnung mit Gerät für stationäre Werkstücke	16
Bild 9	— Geometrie des kugelförmigen Tastelements	17
Bild 10	— Prüfverfahren für die Abweichung des Messkopfes	20
Bild A.1	— Prinzip des Bezugspunkts der Abweichung der Verkipfung	25
Bild A.2	— Prüfverfahren für die radiale Abweichung	26
Bild A.3	— Analyseverfahren für die Bewertung der radialen Abweichung auf Polardiagrammen	27
Bild A.4	— Prüfverfahren für die axiale Abweichung	29
Bild A.5	— Analyseverfahren für die Bewertung der axialen Abweichung und von Polardiagrammen	30
Bild A.6	— Prüfverfahren von A.2.3, Abweichung der Geradheit in Längsrichtung	31
Bild A.7	— Analyseverfahren für die Bewertung der Abweichung der Geradheit in Längsrichtung	33
Bild A.8	— Prüfverfahren für Parallelitätsabweichungen mit CYL_{tt}	35
Bild A.9	— Bewertungsverfahren für die Analyse von Parallelitätsabweichungen mit CYL_{tt}	36
Bild A.10	— Prüfverfahren für Parallelitätsabweichungen mit zwei Geradheitslinien	37
Bild A.11	— Bewertungsverfahren für die Analyse von Parallelitätsabweichungen mit zwei Geradheitslinien	38
Bild A.12	— Prüfverfahren für die Abweichung der Geradheit in Längsrichtung	39
Bild A.13	— Analyseverfahren für die Bewertung der Abweichung der Geradheit in Querrichtung und der Rechtwinkligkeitsabweichung	41
Bild A.14	— Analyseverfahren für die Bewertung der Abweichung der Rechtwinkligkeitsabweichung	43
Bild B.1	— Ein Paar Parallelendmaße auf einer Bezugsebene	45
Bild B.2	— Flicknormal	46
Bild B.3	— Ein Flicknormal mit Entfernung der Restexzentrizität und Unterdrückung des Radius	47
Bild B.4	— Vergrößerungskalibrator	48

Bild D.1 — Beispiel für ein Prüfprotokoll	54
Bild E.1 — Scheitelverschiebung	55
Bild F.1 — Geometrie eines zylinderförmigen Tastelements	56
Bild F.2 — Ringförmige (beilähnlich) Geometrie des Tastelements	56

Tabellen

Tabelle A.1 — Liste der Konstruktionsmerkmale	23
Tabelle A.2 — Messtechnische Eigenschaften	44
Tabelle G.1 — Matrix der ISO-GPS-Normen	59

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 5463:2023) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 213 „Geometrische Produktspezifikationen und -prüfung“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 290 „Geometrische Produktspezifikationen und -prüfung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 5463:2023 wurde von CEN als prEN ISO 5463:2023 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Directives, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Directives, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterteilungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist ISO/TC 213.

Einleitung

Dieses Dokument ist eine Norm zur Geometrischen Produktspezifikation (GPS) und ist als eine allgemeine GPS-Norm zu betrachten (siehe ISO 14638). Es beeinflusst Kettenglied F der Normenkette zu Form, Richtung, Ort und Lauf. Für detailliertere Informationen über die Beziehung dieser Norm zu anderen Normen und zum GPS-Matrix-Modell siehe Anhang E.

Das ISO/GPS-Matrixmodell in ISO 14638 gibt einen Überblick über das ISO/GPS-System, von dem dieses Dokument ein Teil ist. Die in ISO 8015 aufgeführten grundlegenden Regeln von ISO/GPS gelten für dieses Dokument, und die in ISO 14253-1 aufgeführten Standardentscheidungsregeln gelten für Spezifikationen, die in Übereinstimmung mit diesem Dokument erstellt wurden, sofern nicht anders angegeben; siehe ISO/TR 14253-6 für zusätzliche Informationen über die Auswahl alternativer Entscheidungsregeln.

Dieses Dokument ersetzt ISO 4291:1985, *Verfahren zur Ermittlung von Rundheitsabweichungen — Messung der Radienschwankungen*.

Es gibt verschiedene Typen und Varianten von Formmessgeräten mit Drehachse. Die in diesem Dokument beschriebenen messtechnischen Eigenschaften gelten für alle Typen und Varianten.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die wichtigsten Konstruktionsmerkmale und messtechnischen Eigenschaften von Formmessgeräten mit Drehachsen fest.

Es gilt nicht für Koordinatenmesssysteme, wie sie in den Teilen von ISO 10360 festgelegt sind, unabhängig davon, ob die Systeme mit einer Drehachse ausgestattet sind oder nicht, es sei denn, es besteht eine besondere Vereinbarung.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 1101, *Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Tolerances of form, orientation, location and run-out*

ISO 9493, *Geometrical product specifications (GPS) — Dimensional measuring equipment: Dial test indicators (lever type) — Design and metrological characteristics*

ISO 12180-1, *Geometrical product specifications (GPS) — Cylindricity — Part 1: Vocabulary and parameters of cylindrical form*

ISO 12180-2, *Geometrical product specifications (GPS) — Cylindricity — Part 2: Specification operators*

ISO 12181-1, *Geometrical product specifications (GPS) — Roundness — Part 1: Vocabulary and parameters of roundness*

ISO 12181-2, *Geometrical product specifications (GPS) — Roundness — Part 2: Specification operators*

ISO 12780-1, *Geometrical product specifications (GPS) — Straightness — Part 1: Vocabulary and parameters of straightness*

ISO 12780-2, *Geometrical product specifications (GPS) — Straightness — Part 2: Specification operators*

ISO 12781-1, *Geometrical product specifications (GPS) — Flatness — Part 1: Vocabulary and parameters of flatness*

ISO 14253-1, *Geometrical product specifications (GPS) — Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment — Part 1: Decision rules for verifying conformity or nonconformity with specifications*

ISO 14253-5, *Geometrical product specifications (GPS) — Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment — Part 5: Uncertainty in verification testing of indicating measuring instruments*

ISO 14978, *Geometrical product specifications (GPS) — General concepts and requirements for GPS measuring equipment*

ISO 16610-21, *Geometrical product specifications (GPS) — Filtration — Part 21: Linear profile filters: Gaussian filters*

ISO/IEC Guide 99, *International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 1101, ISO 14978, ISO/IEC Guide 99 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1 Allgemeine Begriffe

3.1.1

Messkoordinatensystem

zylindrisches Koordinatensystem, bei dem die Längsachse nominell mit der Drehachse zusammenfällt und mit einer nominell rechtwinkligen Querachse

Anmerkung 1 zum Begriff: Die entlang der Längsachse gemessenen Verschiebungen werden mit Z bezeichnet und von einem vom Hersteller festgelegten Punkt aus gemessen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der mit R bezeichnete Radius wird von der Drehachse aus gemessen und seine Grundrichtung ist die Querachse.

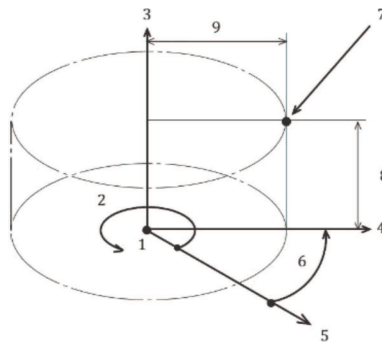
Anmerkung 3 zum Begriff: Der als θ bezeichnete Drehwinkel wird von einer Linie mit einer vom Hersteller festgelegten Richtung in der Querebene gemessen.

Anmerkung 4 zum Begriff: Die Richtung entlang der Drehachse wird als „axiale Richtung“ für Dreheigenschaften bezeichnet.

Anmerkung 5 zum Begriff: Die Richtung nach außen um die Rotationsachse wird als „radiale Richtung“ für Dreheigenschaften bezeichnet.

Anmerkung 6 zum Begriff: Die Drehrichtung um die Drehachse wird als „Winkelrichtung“ für Dreheigenschaften bezeichnet.

Anmerkung 7 zum Begriff: Es gibt andere Definitionen des Begriffs „Koordinatensystem“ für verschiedene Arten von Geräten.



Legende

- | | |
|---|---|
| 1 Ursprung (Mittelpunkt des Drehlagers) | 6 Winkelabstand der Querachse von der Bezugsachse |
| 2 Winkelbewegung | 7 Antastpunkt |
| 3 Achsline der Drehung | 8 Höhe des Antastpunkts H von der Querebene |
| 4 Querachse/radiale Richtung | 9 Abstand des Antastpunkts R von der Drehachse |
| 5 Bezugsachse in der Querebene | |

Bild 1 — Messkoordinatensystem

3.1.2

Zentrieren

Einstellen des Mittelpunkts des Werkstücks in einer Ebene senkrecht zur Drehachse, so dass er mit der Drehachse des Geräts übereinstimmt (siehe Bild 2)

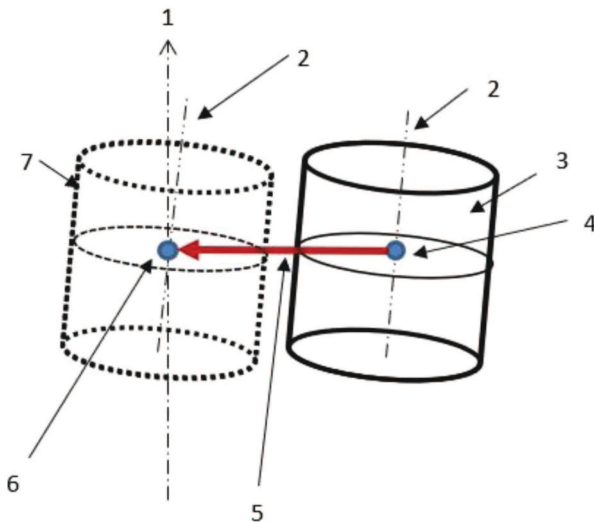


Bild 2 a)

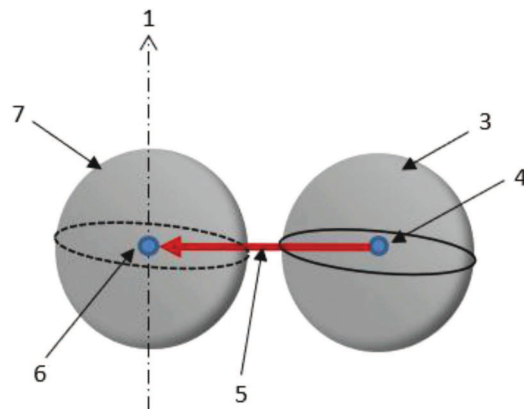


Bild 2 b)

Legende

- | | |
|---|--|
| 1 Drehachse | 5 Zentrierverschiebung |
| 2 Mittellinie des rotationssymmetrischen Werkstücks | 6 Mittelpunkt nach dem Zentrieren |
| 3 rotationssymmetrisches Werkstück vor dem Zentrieren | 7 rotationssymmetrisches Werkstück nach dem Zentrieren |
| 4 Mittelpunkt vor dem Zentrieren | |

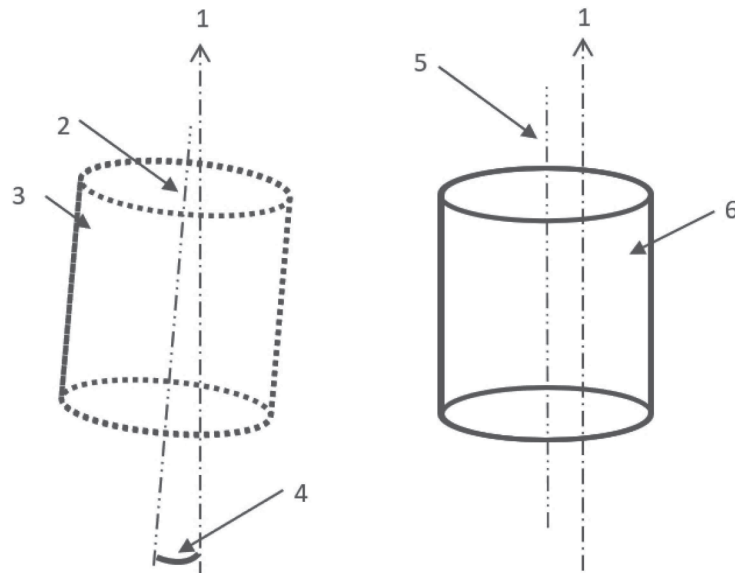
Bild 2 — Zentrieren

3.1.3

Nivellieren

Einstellung der Mittellinie des Werkstücks, so dass sie parallel zur Drehachse verläuft, oder Einstellung des Normalenvektors zu einem ebenen Geometrieelement des Werkstücks, so dass er parallel zur Drehachse verläuft

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Nivellieren wird häufig mit dem Zentrieren kombiniert oder von diesem gefolgt, damit die Achse des Werkstücks mit der Drehachse des Geräts gleichachsig verläuft.



Legende

- | | |
|---|--|
| 1 Drehachse | 4 Winkelverschiebung |
| 2 Mittellinie des rotationssymmetrischen Werkstücks vor dem Nivellieren | 5 Mittellinie des rotationssymmetrischen Werkstücks nach dem Nivellieren |
| 3 rotationssymmetrisches Werkstück vor dem Nivellieren | 6 rotationssymmetrisches Werkstück nach dem Nivellieren |

Bild 3 — Nivellieren

3.2 Begriffe im Zusammenhang mit dem Messkopfsystem

3.2.1

Taster

mechanische Einrichtung, welche aus einer Spitze und einem Arm besteht

[QUELLE: ISO 25178-601:2010, 3.3.4 [19]]

3.2.2

Tastelement

körperliches Element, das den Kontakt zum Werkstück herstellt

[QUELLE: ISO 10360-1:2000, 4.2 [9]]

4 Konstruktionsmerkmale

4.1 Allgemeines

Dieses Messgerät ist hauptsächlich für die Erfassung von Formabweichungen in zylindrischen Koordinaten durch die direkte Messung von radialen (und axialen) Abweichungen konstruiert.

ANMERKUNG Ein Formmessgerät mit Drehachse ermöglicht die Auswertung von Formabweichungen, Richtungsabweichungen und Lageabweichungen von extrahierten integralen Oberflächen, die durch Umdrehung ermittelt werden können, z. B. eine zylindrische Fläche, eine Kugel, eine Ebene.

4.2 Typen von Formmessgeräten mit Drehachse

4.2.1 Allgemeines

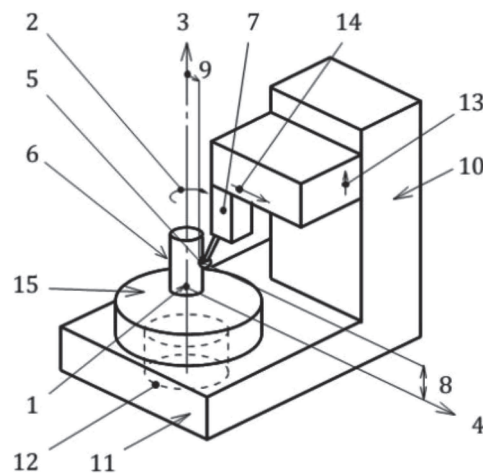
Es gibt verschiedene Typen von Formmessgeräten mit Drehachsen, wobei es von jedem dieser Typen Varianten gibt.

4.2.2 Gerät für drehende Werkstücke

Die Konstruktionsmerkmale dieses Typs von Geräten sind in Anhang A beschrieben.

Zu den Geräten mit drehenden Werkstücken gehören die folgenden Varianten:

(1) Gerät für drehende Werkstücke mit vertikaler Achse.

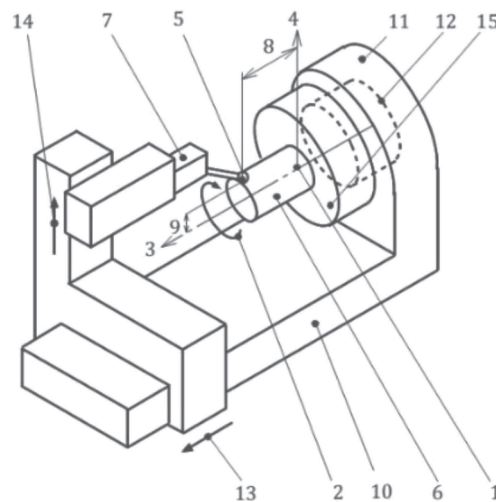


Legende

- | | |
|--|---|
| 1 Ursprung des Messkoordinatensystems | 9 Radius des Antastpunkts R von der Drehachse |
| 2 Winkelbewegung | 10 Ständer |
| 3 Achsline der Drehung | 11 Unterteil |
| 4 Querachse | 12 Drehspindel |
| 5 Antastpunkt | 13 Bewegung der Längsachse |
| 6 Werkstück | 14 Bewegung der Querachse |
| 7 Messkopf | 15 Arbeitstisch |
| 8 Höhe des Antastpunkts H von der oberen Ebene des Arbeitstischs | |

Bild 4 — Gerät für drehende Werkstücke mit vertikaler Achse

(2) Gerät für drehende Werkstücke mit horizontaler Achse, welches eine Variante ist, bei der die Längsachse in einer horizontalen Ebene liegt.



Legende

- | | |
|---|---|
| 1 Ursprung des Messkoordinatensystems | 9 Radius des Antastpunkts R von der Drehachse |
| 2 Winkelbewegung | 10 Ständer |
| 3 Achsline der Drehung/Längsachse | 11 Unterteil |
| 4 Richtung der Querachse | 12 Drehspindel |
| 5 Antastpunkt | 13 Längsbewegung |
| 6 Werkstück | 14 Querbewegung |
| 7 Messkopf | 15 Befestigung für das Werkstück auf dem Arbeitstisch |
| 8 Höhe des Antastpunkts H von der oberen Ebene des Arbeitstisches | |

Bild 5 — Gerät für drehende Werkstücke mit horizontaler Achse

(3) Drehendes Werkstück mit vertikaler Achse zwischen Mittelpunkten,

was eine Variante von Typ (1) ist, bei der das Werkstück zwischen Mittelpunkten und nicht auf einem Arbeitstisch gedreht wird.

(4) Drehendes Werkstück mit horizontaler Achse zwischen Mittelpunkten,

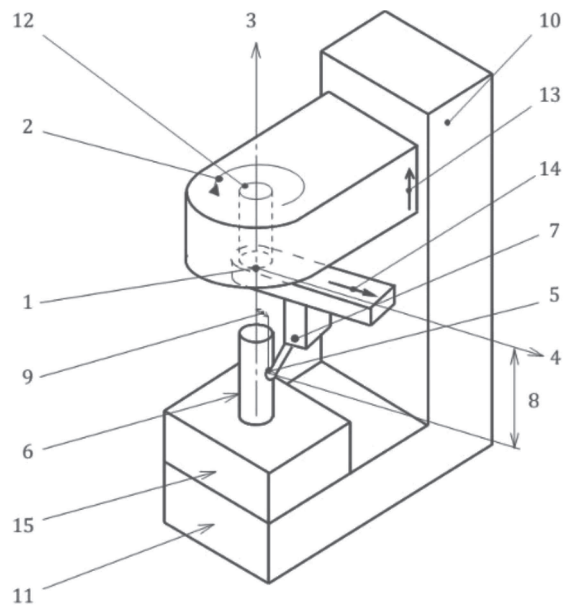
was eine Variante von Typ (2) ist, bei der das Werkstück zwischen Mittelpunkten und nicht auf einem Arbeitstisch gedreht wird.

ANMERKUNG Die Richtung der einzelnen Achsen zwischen dem „Gerät für drehende Werkstücke mit vertikaler Achse“ und dem „Gerät für drehende Werkstücke mit horizontaler Achse“ sollte aufgrund der gedrehten Anordnung der Bilder nicht verwechselt werden.

4.2.3 Gerät für unbewegliche Werkstücke

Zu den Geräten mit unbeweglichen Werkstücken gehören die folgenden Varianten:

(1) Gerät für unbewegliche Werkstücke mit vertikaler Achse.

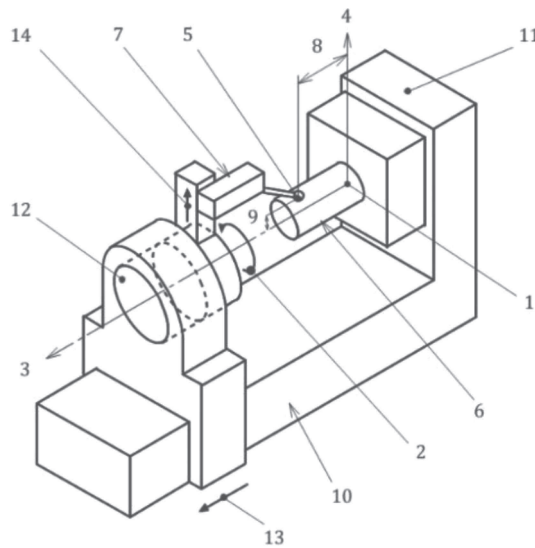


Legende

- | | |
|---|--|
| 1 Ursprung des Messkoordinatensystems | 9 Abstand des Antastpunkts R von der Drehachse |
| 2 Winkelbewegung | 10 Ständer |
| 3 Achsline der Drehung | 11 Unterteil |
| 4 Querachse | 12 Drehspindel |
| 5 Antastpunkt | 13 Bewegung der Längsachse |
| 6 Werkstück | 14 Bewegung der Querachse |
| 7 Messkopf | 15 Arbeitstisch |
| 8 Höhe des Antastpunkts H vom Ursprung in der Querachse | |

Bild 6 — Gerät für unbewegliche Werkstücke mit vertikaler Achse

(2) Gerät für unbewegliche Werkstücke mit horizontaler Achse, welches eine Variante ist, bei der die Längsachse in einer horizontalen Ebene liegt.



Legende

- | | |
|---------------------------------------|---|
| 1 Ursprung des Messkoordinatensystems | 8 Höhe des Antastpunkts H vom Ursprung in der Querachse |
| 2 Winkelbewegung | 9 Abstand des Antastpunkts von der Drehachse |
| 3 Achsline der Drehung/Querachse | 10 Unterteil |
| 4 Längsachse | 11 Ständer |
| 5 Antastpunkt | 12 Drehspindel |
| 6 Werkstück | 13 Bewegung der Querachse |
| 7 Messkopf | 14 Einstellradius |

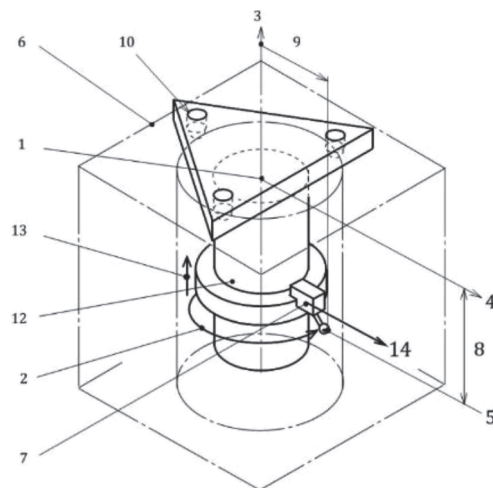
Bild 7 — Gerät für unbewegliche Werkstücke mit horizontaler Achse

(3) Gerät für unbewegliche Werkstücke mit horizontaler Achse zwischen beiden Mittelpunkten,

was eine Variante von Typ (2) ist, bei der das Werkstück zwischen Mittelpunkten und nicht in einer Befestigung für das Werkstück gehalten wird.

(4) Einführöffnung mit Gerät für unbewegliche Werkstücke,

eine Variante des Typs, bei der das Gerät in einer festen zylindrischen Öffnung auf einem Werkstück arbeitet.



Legende

- | | |
|-------------------------------|--|
| 1 Ursprung der Messkoordinate | 8 Höhe des Antastpunkts H vom Ursprung in der Querachse |
| 2 Winkelbewegung | 9 Radius R des Werkstücks am Berührungspunkt des Messkopfs |
| 3 Achsline der Drehachse | 10 Unterteil |
| 4 Querachse | 12 Drehspindel |
| 5 Antastpunkt | 13 Längsbewegung |
| 6 Werkstück | 14 Achse des Hebel-Messkopfs |
| 7 Messkopf | |

Bild 8 — Einführöffnung mit Gerät für stationäre Werkstücke

4.3 Konstruktionsmerkmale des Messkopfs

4.3.1 Berührender Messkopf

Ein berührender Messkopf besteht aus einem befestigten Teil („Hauptkörper einschließlich Messwertaufnehmer“) und einem beweglichen Teil („Taster“), der auch als „Messelement“ bezeichnet wird [QUELLE: ISO 14978, 3.26].

Ein berührender Messkopf benötigt eine „Messkraft“, um den Kontakt mit der Oberfläche während der gesamten Messung aufrechtzuerhalten. Eine übermäßige Kraft kann zu einer Verbiegung des Messkreises führen und auch die Berührungspunkte oder die zu messende Oberfläche beschädigen. Die Messkraft sollte daher so gering wie möglich gehalten werden.

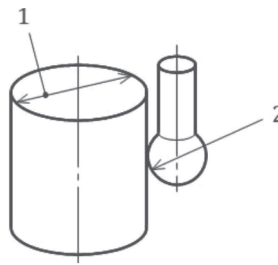
Der ideale Spezifikationsoperator der Messkraft, der in den ISO-Normen für Formmessungen definiert ist, beträgt 0 N (QUELLE: ISO 12180-2, 4.2.2, ISO 12181-2, 4.3.3 und ISO 12780-2, 4.3.3).

Die maximale und minimale Messkraft muss vom Hersteller als ein Konstruktionsmerkmal für berührende Messköpfe angegeben werden.

Das Tastelement sollte aus einem harten, verschleißfesten Werkstoff gefertigt sein. Es muss gut verarbeitet und frei von Abflachungen oder anderen Unregelmäßigkeiten sein, die die Genauigkeit des Geräts beeinträchtigen könnten (QUELLE: ISO 9493, 4.6.1).

Die geometrischen Eigenschaften des berührenden Messelements müssen für die Verwendung des Messgeräts ausreichend sein.

Die Standardgeometrie des Tastelements ist eine Kugel (QUELLE: ISO 12180-2, 4.2.2, ISO 12181-2, 4.3.2 und ISO 12780-2, 4.3.2) (siehe Bild 10).



Legende

- 1 Durchmesser eines zylindrischen Werkstücks
- 2 Radius der Spitze eines kugelförmigen Tasters in beliebiger Richtung

Bild 9 — Geometrie des kugelförmigen Tastelements

5 Messtechnische Eigenschaften

5.1 Allgemeines

Die messtechnischen Eigenschaften, andere Konzepte und Grundsätze, die allen Typen und Varianten gemeinsam sind, werden im Hauptteil des Textes beschrieben. Da die Überprüfung der messtechnischen Eigenschaften je nach Gerätetyp und -variante variieren kann, werden Prüfung und Überprüfung in normativen Anhängen beschrieben, die sich auf den Gerätetyp und die Variante beziehen.

Ein Formmessgerät mit Drehachse kann zur Messung vieler Arten von Geometrieelementen verwendet werden. Das Gerät kann daher viele verschiedene messtechnische Eigenschaften haben. Der Lieferant eines Formmessgeräts mit Drehachse muss für jede messtechnische Eigenschaft die größte zulässige Messabweichung (MPE, en: maximum permissible error) festlegen. MPE gelten, wenn das Gerät entsprechend den Empfehlungen des Herstellers verwendet wird.

ANMERKUNG Der Hersteller/Lieferant muss keine MPE-Werte für messtechnische Eigenschaften festlegen, die weder in den Gerätefunktionen noch in den erforderlichen Messungen am Zielwerkstück enthalten sind.

Die gemeinsamen Eigenschaften und Allgemeinheiten werden in den folgenden Unterabschnitten beschrieben.

Die meisten Konstruktionsmerkmale und messtechnischen Eigenschaften eines Formmessgeräts mit Drehachse werden in Abhängigkeit von seinem Typ beschrieben. Die Eigenschaften von Geräten für drehende Werkstücke sind im normativen Anhang A beschrieben.

Die Längeneinheit der messtechnischen Eigenschaften ist standardmäßig Mikrometer.

5.2 Anforderungen an die Umwelt

5.2.1 Allgemeines

Der Hersteller/Lieferant muss die Nennbetriebsbedingungen angeben, für die die MPE gültig sind.

5.2.2 Umweltbedingungen

Die Grenzwerte für die zulässigen Umgebungsbedingungen (wie Temperaturbedingungen, Luftfeuchte, Schwingungen und Umgebungsbeleuchtung am Aufstellungsort, die die Messungen beeinflussen) müssen festgelegt werden durch:

- den Hersteller im Falle von Abnahmeprüfungen;
- den Anwender im Falle von Bestätigungsprüfungen.

In beiden Fällen steht es dem Anwender frei, die Umgebungsbedingungen zu wählen, unter denen diese Standardprüfung innerhalb der im Gerätedatenblatt festgelegten Grenzen durchgeführt werden wird.

Der Anwender ist dafür verantwortlich, dass die vom Hersteller im Datenblatt angegebenen Umgebungsbedingungen gegeben sind. Wenn die Umgebung nicht den Nennbetriebsbedingungen entspricht, kann keine Entscheidung über die Konformität/Nichtkonformität mit den Spezifikationen getroffen werden.

5.2.3 Betriebsbedingungen

Das Gerät muss nach den in der Betriebsanleitung des Herstellers angegebenen Verfahren betrieben werden, wenn die in diesem Abschnitt aufgeführten Prüfungen durchgeführt werden.

5.3 Verfahren zum Aufteilen der Abweichungen

Die für die messtechnischen Eigenschaften angegebenen Werte können nach dem Aufteilen der Abweichungen als Teil des Messverfahrens abgeleitet werden.

Bei der Überprüfung der Konformität mit der Spezifikation kann es notwendig sein, Verfahren zum Aufteilen der Abweichungen anzuwenden, um eine ausreichend kleine Messunsicherheit zu erreichen (z. B. aufgrund der unvollkommenen Form der Prüfkugel).

ANMERKUNG 1 Die folgenden Verfahren zum Aufteilen der Abweichungen werden üblicherweise verwendet:

- a) Ausgleich des kalibrierten Profilverfahrens;
- b) Umkehrung des Verfahrens zum Aufteilen der Abweichungen nach Donaldson (siehe [3] [24] [25] [28] und [30]);
- c) Mehrschrittverfahren zum Aufteilen der Abweichungen (siehe [26] [27] [28] [30] [31] und [35]).

ANMERKUNG 2 Nicht alle der oben aufgeführten Verfahren sind auf alle messtechnischen Eigenschaften anwendbar.

5.4 Eigenschaften des Messkopfs

5.4.1 Referenzpunkt

Sofern zutreffend, müssen Messköpfe für Formmessungen mit einer für den Benutzer zugänglichen Vorrichtung zur Einstellung des Messkopfes auf Null oder auf den Referenzpunkt versehen sein. Die in diesem Dokument beschriebenen messtechnischen Eigenschaften gelten, wenn der Messkopf entsprechend den Empfehlungen des Herstellers richtig eingestellt ist und der Referenzpunkt bei der Überprüfung der messtechnischen Eigenschaften als feststehend betrachtet wird.

5.4.2 Abweichung des Messkopfs

5.4.2.1 Allgemeines

Die Abweichung des Messkopfs (E_p) ist der Anzeigefehler bei der Messung eines Normals, das den Messkopf verschiebt. Dieser Fehler wird als Abweichung der Messkopfanzeige vom kalibrierten Referenzwert eines Normals mit Vorzeichen berechnet.

Die MPE der Abweichung des Messkopfs muss in dem vom Hersteller/Lieferanten angegebenen Messbereich festgelegt werden. Wenn der Hersteller/Lieferant zwei oder mehr Messbereiche angegeben hat, sollte die MPE für die Abweichung des Messkopfs in jedem Messbereich festgelegt werden.

ANMERKUNG 1 Abweichungen des Messkopfs können Abweichungen der Empfindlichkeit (siehe ISO/IEC Guide 99, 4.12), Abweichungen der Linearität (siehe IEC 60050 IEV 311-06-05), Messgerätedrift (siehe ISO/IEC Guide 99, 4.21), Auflösung/Ziffernschritt看wert (siehe ISO 14978, 6.2.3), Wiederholpräzision (siehe ISO 14978, 6.2.4.5 und ISO/IEC Guide 99, 2.21), Messrauschen und Abweichungen von der Hysterese (siehe ISO 14978, 6.2.4.6) sowie das dynamische Verhalten (siehe Anhang C) umfassen.

ANMERKUNG 2 Die Abweichung des Messkopfs trägt zu allen messtechnischen Eigenschaften des Geräts bei.

Diese Empfindlichkeit eines Messkopfs wird als die Neigung einer Kalibrierlinie berechnet, die eine aus der Kalibrierkurve des Messkopfs im Bereich eines Anzeigebereichs des Messkopfs berechnete Referenzlinie der kleinsten Quadrate ist.

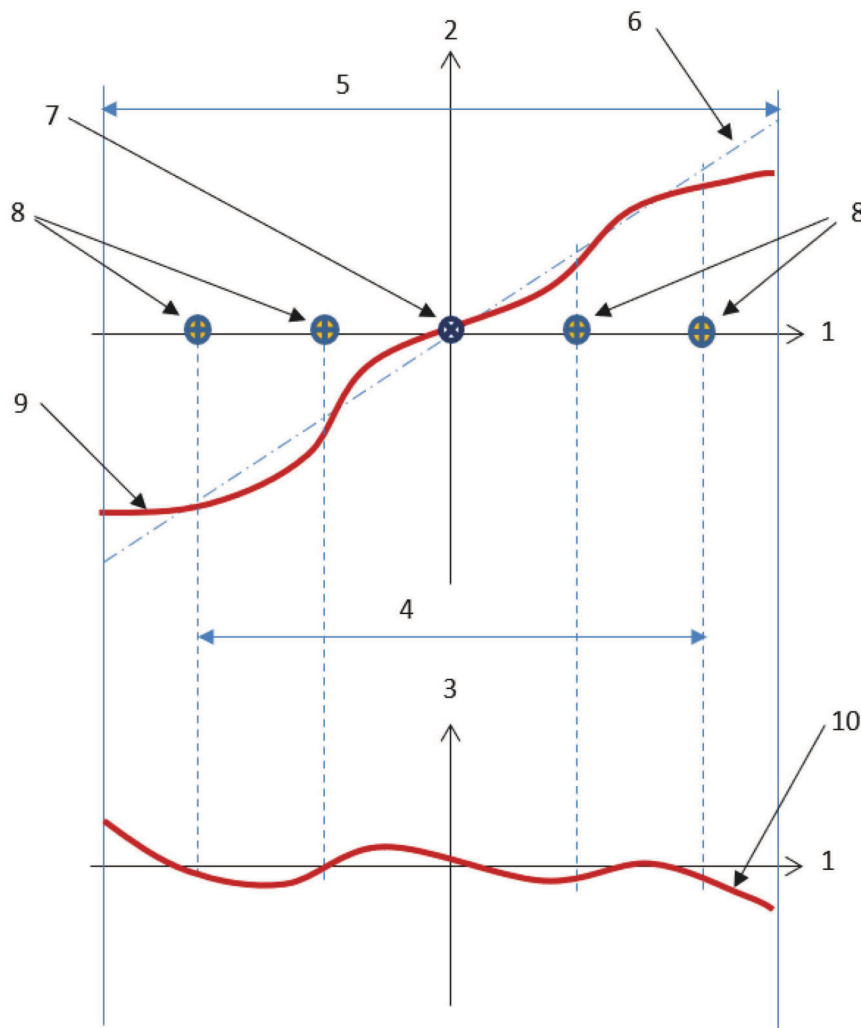
Da die Empfindlichkeit mit den Einstellungen und der Auswahl des Tasters variiert, sollte die Empfindlichkeit bei jeder aktuellen Einstellung/Auswahl des Messkopfes mit einem Messstandard vor der Prüfung der Abweichung des Messkopfs angepasst werden.

5.4.2.2 Prüfverfahren

5.4.2.2.1 Prüfpunkte und Bereich

Die Überwachungsprüfung der Abweichung des Messkopfs wird mit fünf oder mehr Prüfpunkten durchgeführt. Die Prüfpunkte müssen so gleichmäßig wie möglich über den gesamten Messbereich des Messkopfes verteilt sein (siehe Bild 13). Die Prüfpunkte müssen mindestens die zentralen 75 % des Messbereichs des Messkopfes abdecken.

Der Referenzpunkt des Messkopfes muss sich im Mittelpunkt (Nullpunkt) seines Messbereichs befinden. Dieser Referenzpunkt muss sich auf der Bezugsebene des Normals befinden und einer der Prüfpunkte sein.



Legende

- | | |
|------------------------------|--|
| 1 tatsächliche Verschiebung | 6 ideale lineare Funktion der Abweichung des Messkopfs |
| 2 gemessene Verschiebung | 7 Referenzpunkt |
| 3 Abweichung des Messkopfs | 8 Prüfpunkt |
| 4 Prüfbereich | 9 Kalibrierkurve |
| 5 Messbereich des Messkopfes | 10 Kurve der Abweichung des Messkopfs |

Bild 10 — Prüfverfahren für die Abweichung des Messkopfs

5.4.2.2.2 Prüfrichtung und Lage

Die Antastrichtung (horizontal/vertikal) für die Überwachungsprüfung der Abweichung des Messkopfs sollte vom Hersteller/Lieferanten festgelegt werden.

5.4.2.3 Normal und Prüfverfahren

Bei der Prüfung der Konformität mit den Spezifikationen müssen ausreichende Prüfungen durchgeführt werden, um Vertrauen in die Ergebnisse herzustellen, und der Prüfer darf geeignete Geräte oder Normale aus den in Anhang B beschriebenen auswählen. Das verwendete Gerät oder Normal muss den zu prüfenden Bereich abdecken.

Wenn jeder Zielschritt der Verschiebung eine andere Antastposition beinhaltet, sollten die Antastpositionen entlang einer genauen (rotierend, längs oder quer) Abtastbewegung eingestellt werden. Die Abweichung des Messkopfs muss anhand der gemessenen Längendifferenz jeder Verschiebung berechnet werden. Typische Verfahren der einzelnen Geräte und Normale sind ebenfalls in Anhang B aufgeführt.

5.4.2.4 MPE-Funktion

Die größte zulässige Messabweichung des Messkopfs, $E_{P,MPE}$, ist eine zweiseitige MPE-Funktion, wie in ISO 14978 dargestellt;

a) MPE-Funktionen mit proportionalem Wert

Obere Grenze MPE $E_{P,MPE} = +(a + |L \times b|)$

Untere Grenze MPE $E_{P,MPE} = -(a + |L \times b|)$

b) MPE-Funktion mit konstantem Wert

Obere Grenze MPE

Untere Grenze MPE

c) MPE-Funktionen mit proportionalem Wert mit Messkopfbereich

Obere Grenze MPE $E_{P,MPE} = +(a + |L \times b|) / (\text{Messkopfbereich})$

Untere Grenze MPE $E_{P,MPE} = -(a + |L \times b|) / (\text{Messkopfbereich})$

Dabei ist

a, c positive, vom Hersteller angegebene Konstanten

b eine vom Hersteller angegebene dimensionslose positive Konstante

L die tatsächliche Verschiebung in Mikrometern ($L = 0$ am Referenzpunkt)

Die MPE der Abweichung des Messkopfs kann auch als Prozentsatz der vom Hersteller angegebenen Messspanne angegeben werden, wenn die MPE zur Angabe eines konstanten Werts vorgesehen ist. Die MPE der Abweichung des Messkopfs kann auch als Prozentsatz mit proportionalem Messkopfbereich angegeben werden.

6 Bestimmung der Konformität mit der Spezifikation

6.1 Allgemeines

Alle Abweichungen der Anzeige müssen mit den festgelegten MPE-Werten übereinstimmen.

6.2 Messunsicherheit

Die Bewertung der Messunsicherheit muss in Übereinstimmung mit ISO/IEC Guide 98-3 erfolgen. Bei der Bestimmung der Konformität mit der Spezifikation muss die mit einem Prüfwert verbundene Messunsicherheit (die Prüfwertunsicherheit) nach ISO 14253-5 bewertet werden. Zusätzliche Hinweise sind in ISO 14978:2018, Anhang D, enthalten.

6.3 Entscheidungsregel

Beim Nachweis der Konformität oder Nichtkonformität mit den Spezifikationen muss die den Spezifikationen zugehörige Entscheidungsregel befolgt werden. Wenn in den Spezifikationen keine Entscheidungsregel angegeben ist und keine besondere Vereinbarung zwischen Lieferant und Kunde getroffen wurde, muss die Default-Entscheidungsregel die einfache Annahme und Zurückweisung sein, wobei der Messfähigkeitsindex C_m in Übereinstimmung mit ISO/TR 14253-6 eins oder größer ist.

ANMERKUNG Informationen zur Auswahl einer alternativen Entscheidungsregel sind in ISO/TR 14253-6 enthalten.

Anhang A (normativ)

Konstruktion und messtechnische Eigenschaften von Geräten für drehende Werkstücke

A.1 Konstruktionsmerkmale

Die Konstruktion dieses Typs von Formmessgeräten mit Drehachse muss den allgemeinen Leitlinien in ISO 14978 entsprechen. Die Konstruktion muss derart sein, dass die messtechnischen Eigenschaften mit den Anforderungen dieses Dokuments übereinstimmen.

Tabelle A.1 enthält eine Liste von Konstruktionsmerkmalen für diesen Typ eines Formmessgeräts mit Drehachse. Relevante Konstruktionsmerkmale sollten bei der Übermittlung von Anforderungen festgelegt werden.

Tabelle A.1 — Liste der Konstruktionsmerkmale

Konstruktionsmerkmale		
Komponente	Beschreibung	Einheit
Gerätetyp	Drehendes Werkstück/Stationäres Werkstück	—
Allgemeine Maße	Höhe	mm
	Breite	mm
	Tiefe	mm
	Masse (Gewicht)	kg
Netzanschluss	Netz-Wechselspannung	V
	Wechselstrom-Netzfrequenz	Hz
	Scheinbare Leistungsaufnahme	VA
Messbereich	Maximaler Prüfdurchmesser	mm
	Maximale Messlänge auf der Längsachse	mm
	Maximale Messlänge auf der Querachse	mm
Abtastgeschwindigkeit	Rotationsgeschwindigkeit (ω_{cyc})	Hz (Zyklus/Sekunde) oder min^{-1}
	Abtastgeschwindigkeit auf der Längsachse	mm/s
	Abtastgeschwindigkeit auf der Querachse	mm/s
Ladetisch	Größe oder Durchmesser	mm
	Tragfähigkeit	N (oder kg)
	Zentrierbereich	mm
	Nivellierbereich	Grad

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

Konstruktionsmerkmale		
Komponente	Beschreibung	Einheit
Messkopf	Messkopftyp („berührend/berührungslos“)	—
	Maximaler Messbereich des Messkopfes	mm oder μm
	Anzeigebereich (Minimum bis Maximum) der Messkräfte am berührenden Messkopf	N oder mN
	Radius des Tastelements auf einem berührenden Messkopf oder die Hälfte der effektiven Punktgröße auf einem berührungslosen Messkopf	mm oder μm

ANMERKUNG 1 Tabelle A.1 enthält die wichtigsten Konstruktionsmerkmale für ein Formmessgerät mit Drehachse. Einige dieser Merkmale sind möglicherweise nicht auf alle Varianten anwendbar.

ANMERKUNG 2 Zusätzlich zu den in Tabelle A.1 aufgeführten Merkmalen können je nach Anwendung weitere Konstruktionsmerkmale vom Hersteller festgelegt werden.

A.2 Messtechnische Eigenschaften

A.2.1 Radiale Abweichung

A.2.1.1 Allgemeines

Die radiale Abweichung (E_R) ist die Rundheitsabweichung RON_t (siehe ISO 12181-1), die sich aus einem kurzwellig rejektionsgefilterten Rundheitsprofil eines perfekt runden und perfekt zentrierten Abschnitts eines Normals in einer Richtung senkrecht zur Drehachse ergeben würde.

Die radiale Abweichung darf die maximal zulässige radiale Abweichung nicht überschreiten.

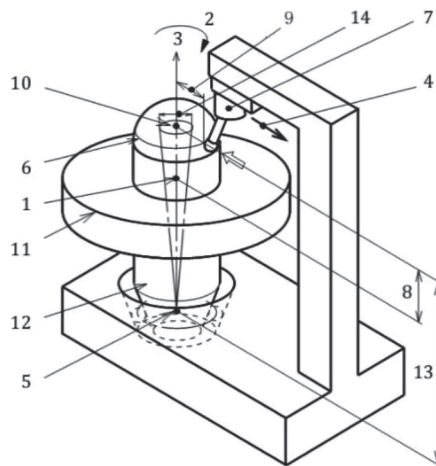
ANMERKUNG 1 Die radiale Abweichung kann aus einer „reinen radialen Abweichung“ bestehen, die üblicherweise als „radiale Bewegungsabweichung“ bezeichnet wird, und einer proportional abhängigen Abweichung, die als „Verkippsabweichung“ bezeichnet wird (siehe ISO 230-7 [3]). Die radiale Bewegungsabweichung kann nicht getrennt von der Verkippsabweichung bewertet werden.

ANMERKUNG 2 Die Abweichung der Schräglage kann den Effekt der „Schließabweichung“ beinhalten (siehe [34]).

ANMERKUNG 3 Die radiale Abweichung kann auch durch die Abweichung des Messkopfs und die verbleibenden Abweichungen bei der Zentrierung als Unsicherheitseffekt beeinflusst werden.

ANMERKUNG 4 Die radiale Abweichung trägt zur Messunsicherheit der Rundheit oder Zylinderform eines Werkstücks bei.

ANMERKUNG 5 Die Verkippsabweichung wirkt sich auch auf die axiale Abweichung aus und kann durch Überprüfung der radialen oder axialen Abweichungen beurteilt werden.



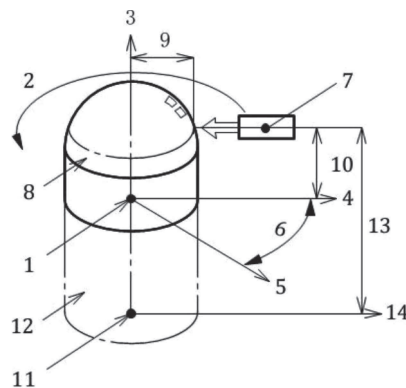
Legende

- | | |
|---|--|
| 1 Ursprung der Messkoordinaten | 8 Nennhöhe des Antastpunkts vom Ursprung |
| 2 Winkelbewegung | 9 Abstand R des Antastpunktes von der Drehachse |
| 3 Achsline der Drehung | 10 Mittelpunkt des Antast-Rundheitsprofils |
| 4 Querachse | 11 Arbeitstisch/Bezugsebene in Querrichtung |
| 5 Mittelpunkt der Verkippungs-Bewegungsabweichung | 12 Drehspindel |
| 6 Halbkugel/Kugel-Messnormal | 13 tatsächliche Antasthöhe vom Mittelpunkt der Verkippungs-Bewegungsabweichung |
| 7 Messkopf | 14 Verkippungsabweichung bei Höhe H |

Bild A.1 — Prinzip des Bezugspunkts der Abweichung der Verkipfung

A.2.1.2 Prüfverfahren

Die radiale Abweichung muss durch Messung des Rundheitsprofils um ein Rundheitsnormal, z. B. eine Präzisionskugel oder Halbkugel, geprüft werden.



Legende

- | | |
|---|--|
| 1 Ursprung der Messkoordinaten | 8 Normal (Kugel/Hemisphäre) |
| 2 Winkelbewegung | 9 Abstand R des Antastpunktes von der Drehachse |
| 3 Achsline der Drehung | 10 Höhe H_1 des Antastpunkts vom Ursprung |
| 4 Bezugsachse in der Querebene bei der Prüfung bei H_1 (parallel zur Querachse) | 11 Ursprung der Messkoordinaten und dem Mittelpunkt des Rundheitsnormals bei der Prüfung bei H_2 |
| 5 gemessene Position der Drehachse in der Querebene | 12 Abstandshalter bei der Prüfung bei H_2 |
| 6 Winkelabstand von der Bezugsachse | 13 Höhe H_2 des Antastpunkts vom Ursprung |
| 7 Messkopf | 14 Bezugsachse in der Querebene bei der Prüfung bei H_2 |

Bild A.2 — Prüfverfahren für die radiale Abweichung

A.2.1.2.1 Prüfpunkte und Prüfbedingungen

Die Überwachungsprüfung der radialen Abweichung muss mit einem Messverfahren durchgeführt werden, das eine ausreichend kleine Messunsicherheit aufweist.

Die Konfiguration des Messkopfes, die Ausrichtung, die Richtung, die Drehgeschwindigkeit und die Prüfbedingungen des Geräts sollten vom Hersteller/Lieferanten festgelegt werden.

A.2.1.2.2 Prüfposition

Der radiale Abweichung darf eine Abweichung der Verkippung enthalten, die eine proportionale Abweichung ist. Die Abweichung der Verkippung wirkt sich auch auf die axiale Abweichung aus und kann durch Auswertung der radialen oder axialen Abweichungen beurteilt werden. Um die Komponente der Abweichung der Verkippung der radialen Abweichung zu beurteilen, sollten Messungen an zwei verschiedenen Positionen in Richtung der Längsachse vorgenommen werden:

- H_1 , so nahe am Nullpunkt der Längsachse wie möglich (die Höhe des Normals ist akzeptabel);
- H_2 = größer oder gleich einer Hälfte der maximalen Bewegung der Längsachse.

Einige Geräte können eine Längsachse mit einem sehr langen maximalen Verfahrensweg haben. Wenn der maximale Verfahrensweg der Längsachse des Geräts mehr als 400 mm beträgt, kann die Einrichtung des Normals für diese Prüfung instabil sein. In diesem Fall ist es zulässig, dass H_2 in Längsrichtung 200 mm von H_1 entfernt angeordnet wird.

A.2.1.3 Messnormal und Prüfverfahren

Die radiale Abweichung muss mit einem geeigneten Normal mit einer geeigneten Messunsicherheit geprüft werden. Typische Messnormen sind in Anhang B aufgeführt. Bei der Prüfung der Konformität mit den Spezifikationen müssen ausreichende Prüfungen durchgeführt werden, um Vertrauen in die Ergebnisse zu schaffen.

Die Referenzanpassung für die Berechnung der radialen Abweichung muss der Referenzkreis der kleinsten Abweichungsquadrate (LSCI, en: least squares reference circle) sein (siehe ISO 12181-1).

Diese Abweichung wird als RON_t des gemessenen Rundheitsprofils des Rundheitsnormals (Messartefakt) berechnet, sofern erforderlich nach dem Aufteilen der Abweichungen der Artefaktform (siehe Bild A.3). Sofern nicht anders festgelegt, ist die Standard-Filterbedingung 1 – 50 UPR, Gauß, und die Prüfpunkte sowie das Verhältnis zwischen dem Durchmesser d des Referenzkreises und dem Radius r des Tastelements basieren auf ISO 12181-2, Tabelle 1.

Die Prüfmessung muss dreimal wiederholt werden, ohne dass die Messanordnung geändert wird (z. B. Neuausrichtung, Entfernen des Normals), und alle drei Messergebnisse dürfen die höchstzulässige radiale Abweichung nicht überschreiten.

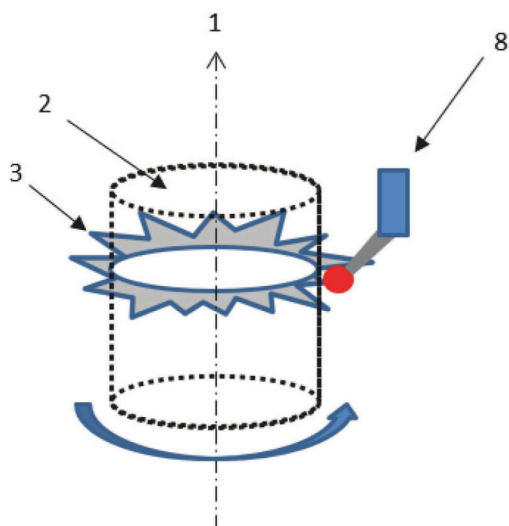


Bild A.3 a)

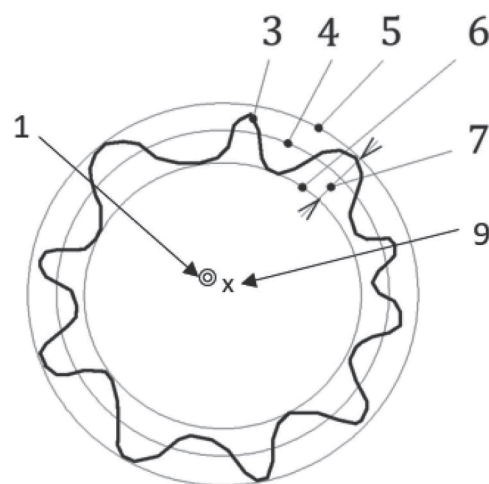


Bild A.3 b)

Legende

- | | |
|---|---|
| 1 Drehachse | 6 der einbeschriebene Kreis mit dem Referenzzentrum |
| 2 Rundheitsnormal | 7 RON_t mit dem Referenzkreiszentrum |
| 3 gemessenes Profil des Rundheitsnormals | 8 Messkopf |
| 4 Referenzkreis der kleinsten Abweichungsquadrate | 9 Mittelpunkt des Referenzkreises der kleinsten Abweichungsquadrate |
| 5 der umschriebene Kreis mit dem Referenzzentrum | |

Bild A.3 — Analyseverfahren für die Bewertung der radialen Abweichung auf Polardiagrammen

ANMERKUNG „Schließabweichungen“ können auch durch Messgerätedrift (siehe ISO/IEC Guide 99, 4.21) oder Einflüsse aus der Umgebung oder dem Messprozess verursacht werden. Bei der Prüfung der Konformität des Geräts mit den Spezifikationen sollten solche Einflüsse nur dann berücksichtigt werden, wenn die Ursache innerhalb der Nennbetriebsbedingungen liegt.

A.2.1.4 MPE-Funktionen

Die maximal zulässige radiale Abweichung kann in einer der beiden folgenden Formen angegeben werden (siehe ISO 14978);

a) $E_{R,MPE} = a + H \times b$

b) $E_{R,MPE} = c$

Dabei ist

a, c positive, vom Hersteller/Lieferanten angegebene Konstanten

b eine dimensionslose positive Proportionalitätskonstante für die Verkippungs-Bewegungsabweichung, die vom Hersteller/Lieferanten bereitgestellt wird und die proportional auf der Grundlage der Merkmale an den Prüfpositionen „**H**₁“ und „**H**₂“ angegeben wird; **H** ist eine absolute Verschiebung des Antastpunkts vom Bezugspunkt in Millimetern.

ANMERKUNG Die Leistung der Drehachse kann von der Last durch das Werkstück abhängen. Der Hersteller/Lieferant kann mehr als einen MPE-Wert für die radiale Abweichung für verschiedene Spindelbelastungsbedingungen als weitere Nennbetriebsbedingung festlegen (siehe ISO 14978, 6.1.5.3).

A.2.2 Axiale Abweichung

A.2.2.1 Allgemeines

Die axiale Abweichung (**E**_A) ist der axiale einfache Lauf, der sich aus einem kurzweilig rejektionsgefilterten Profil ergeben würde, das auf einer perfekt ebenen Normale gemessen wird, deren Oberfläche perfekt rechtwinklig zur Drehachse ist. Die axiale Abweichung darf die maximal zulässige axiale Abweichung nicht überschreiten.

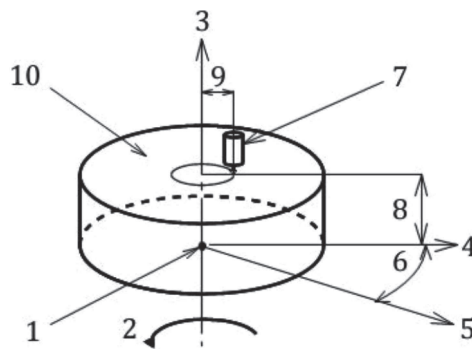
ANMERKUNG 1 Die radiale Abweichung kann aus einer „reinen radialen Abweichung“ bestehen, die üblicherweise als „radiale Bewegungsabweichung“ bezeichnet wird, und einer proportional abhängigen Abweichung, die als „Verkippungsabweichung“ bezeichnet wird (siehe ISO 230-7 [3]). Die Verkippungsabweichung kann nicht getrennt von der axialen Abweichung bewertet werden.

ANMERKUNG 2 Die axiale Abweichung kann die Auswirkung der „Schließabweichung“ beinhalten, die die axiale Differenz zwischen dem axialen Versatz am Anfangs- und Endpunkt des Ebenheitsprofils ist. Eine „Schließabweichung“ wird in der Regel durch eine Messgerätedrift verursacht (siehe ISO/IEC Guide 99, 4.21).

ANMERKUNG 3 Der Prüfwert der axialen Abweichung kann durch die Abweichung des Messkopfs, die Auflösung/den Ziffernschrittwert, die Wiederholpräzision, das Messrauschen, die Ebenheit des Normals und die Abweichung der Nivelierung beeinflusst werden.

A.2.2.2 Prüfverfahren

Die axiale Abweichung muss durch Messung des axialen einfachen Laufs auf einem Ebenheitsnormal grundsätzlich geprüft werden (siehe Bild A.4).



Legende

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1 Ursprung der Messkoordinaten | 6 Winkelabstand der Querschnittsebene von der Bezugsachse |
| 2 Winkelbewegung | 7 Messkopf |
| 3 Achsline der Drehung/Längsachse | 8 Höhe des Antastpunktes von der Querebene |
| 4 Querschnittsebene/radiale Richtung | 9 Abstand des Antastpunktes von der Drehachse |
| 5 Bezugsachse in der Querebene | 10 Normal |

Bild A.4 — Prüfverfahren für die axiale Abweichung

A.2.2.2.1 Prüfpunkte und Prüfbedingungen

Die Überwachungsprüfung der axialen Abweichung muss mit einem Messverfahren durchgeführt werden, das eine ausreichend kleine Messunsicherheit aufweist.

Die Konfiguration des Messkopfes, die Ausrichtung, die Richtung, die Drehgeschwindigkeit und die Prüfbedingungen des Geräts sollten vom Hersteller/Lieferanten festgelegt werden.

A.2.2.2.2 Prüfposition

Die axiale Abweichung kann eine Abweichung der Verkipfung enthalten, die eine proportionale Abweichung ist. Die Abweichung der Verkipfung wirkt sich auch auf die radiale Abweichung aus und kann durch Auswertung der radialen oder axialen Abweichungen beurteilt werden. In diesem Dokument wird vorgeschlagen, die Abweichung der Verkipfung als Teil der radialen Abweichung zu bewerten (siehe A.2.1.2.2). Wenn die Abweichung der Verkipfung als Teil der radialen Abweichung bewertet wurde, ist eine einzelne Messung des axialen Laufs bei R_1 = so nahe wie möglich bei Null (auf der Drehachse) erforderlich (für die Bewertung der „reinen Bewegung der radialen Abweichung“).

Für diese Prüfung kann entweder ein zentriertes kugelförmiges Rundheitsnormal oder ein nivelliertes Ebenheitsnormal verwendet werden. Wenn die Abweichung der Verkipfung durch zwei axiale Messungen an einem nivellierten Ebenheitsnormal bewertet werden soll, sollte die zweite Messposition als R_2 gewählt werden;

R_2 = größer oder gleich der Hälfte des maximalen Verfahrwegs in Richtung der Querschnittsebene

Einige Geräte können eine Querschnittsebene mit einem sehr langen maximalen Verfahrweg haben. Wenn der maximale Verfahrweg der Querschnittsebene des Geräts mehr als 200 mm beträgt, kann die Einrichtung des Normals für diese Position instabil sein. In diesem Fall ist R_2 in der Querrichtung 100 mm von R_1 entfernt.

A.2.2.3 Messnormal und Prüfverfahren

Die axiale Abweichung muss mit einem geeigneten Normal mit einer geeigneten Messunsicherheit geprüft werden. Typische Messnormen sind in Anhang B aufgeführt. Bei der Prüfung der Konformität mit den Spezifikationen müssen ausreichende Prüfungen durchgeführt werden, um Vertrauen in die Ergebnisse zu schaffen.

Bei der Prüfung in der Prüfposition R_1 kann ein zentriertes kugelförmiges Rundheitsnormal als Messnormal verwendet werden.

Diese Abweichung wird als **einfacher Lauf** des gemessenen Kreisprofils des Messnormals berechnet (siehe Bild A.5). Sofern nicht anders festgelegt, ist die Standard-Filterbedingung die gleiche wie für die radiale Abweichung.

Die Prüfmessung muss dreimal wiederholt werden, ohne dass die Messanordnung geändert wird (z. B. Neuausrichtung, Entfernen des Normals), und alle drei Messergebnisse dürfen die höchstzulässige axiale Abweichung nicht überschreiten.

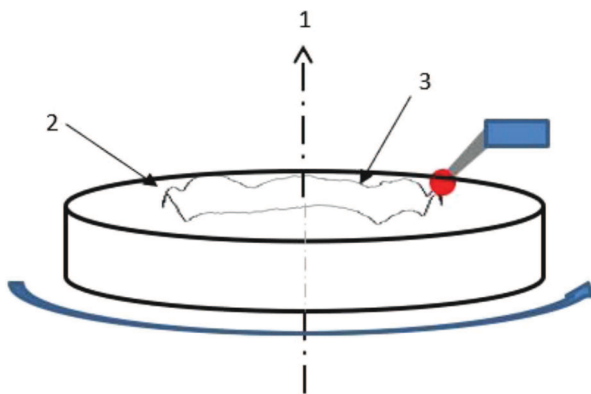


Bild A.5 a)

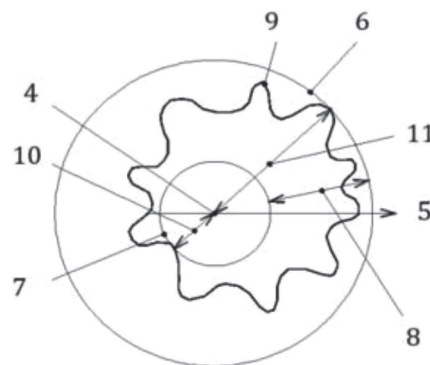


Bild A.5 b)

Legende

- | | |
|--|--|
| 1 Drehachse | 7 der eingeschriebene Kreis mit dem Referenzzentrum |
| 2 Normal | 8 Lauf des polaren Achsenprofils im Mittelpunkt der Normale |
| 3 gemessenes Profil der axialen Verschiebung | 9 ein polares Profil der axialen Verschiebung des Drehzentrums des Normals |
| 4 das Referenzzentrum bei axialer Verschiebung gleich Null | 10 der Mindestwert der axialen Verschiebung |
| 5 axiale Verschiebung | 11 der Maximalwert der axialen Verschiebung |
| 6 der umschriebene Kreis mit dem Referenzzentrum | |

Bild A.5 — Analyseverfahren für die Bewertung der axialen Abweichung und von Polardiagrammen

A.2.2.4 MPE-Funktionen

Die maximal zulässige axiale Abweichung kann in der folgenden Form angegeben werden (siehe ISO 14978);

a) $E_{A,MPE} = a + R \times b$

Dabei ist

a eine positive, vom Hersteller/Lieferanten angegebene Konstante;

b eine dimensionslose positive Proportionalitätskonstante für die Abweichung der Verkipfung (Verkipfungs-Bewegungsabweichung) und wird vom Hersteller/Lieferanten zur Verfügung gestellt;

R der gemessene Positionsradius in Millimetern.

ANMERKUNG Die Leistung der Drehachse kann von der Last durch das Werkstück abhängen. Der Hersteller/Lieferant kann mehr als einen MPE-Wert für die axiale Abweichung für verschiedene Spindelbelastungsbedingungen als weitere Nennbetriebsbedingung festlegen (siehe ISO 14978, 6.1.5.3).

A.2.3 Abweichung der Geradheit in Längsrichtung

A.2.3.1 Allgemeines

Die Abweichung der Geradheit in Längsrichtung (E_{SL}) ist die Geradheitsabweichung STR_t (siehe ISO 12780-1) bei einem kurzweilig rejektionsgefilterten Geradheitsprofil in der Längsachse eines perfekt geraden Normals, das parallel zur Drehachse ausgerichtet ist. Diese Abweichung der Geradheit in Längsrichtung kann nur spezifiziert werden, wenn das Gerät mit einer motorbetriebenen Längsachse ausgestattet ist.

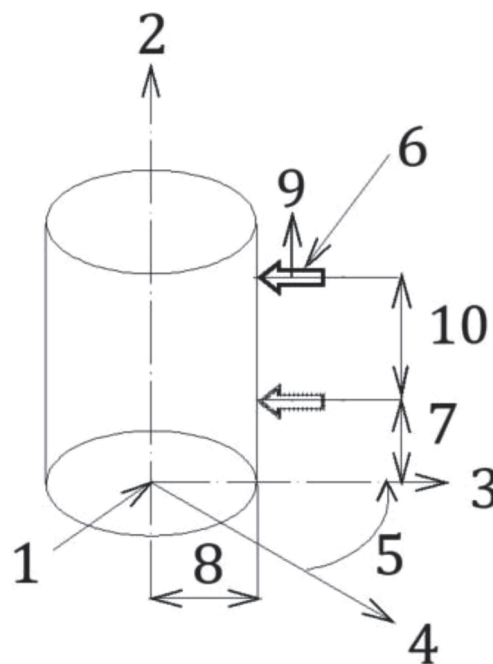
Die Abweichung der Geradheit in Längsrichtung darf die maximal zulässige Abweichung der Geradheit in Längsrichtung nicht überschreiten.

ANMERKUNG 1 Die Abweichung der Geradheit in Längsrichtung kann die Abweichung des Messkopfs, die Auflösung/den Ziffernschrittwert, die Wiederholpräzision, die Messgerätedrift und die Geradheit des Geradheitsnormals umfassen.

ANMERKUNG 2 Die Abweichung der Geradheit in Längsrichtung ist ein Faktor, der zum Messfehler der Geradheit, Zylindrizität oder Parallelität der Mantellinie an einem Werkstück beiträgt.

A.2.3.2 Prüfverfahren

Die Abweichung der Geradheit in Längsrichtung muss durch Messung eines Geradheitsprofils auf einem geeigneten Geradheitsnormal geprüft werden (siehe Bild A.6).



Legende

- | | |
|---|--|
| 1 Ursprung der Messkoordinaten | 6 Messkopf |
| 2 Achsline der Drehung/Längsachse | 7 die niedrigste Höhe des Antastpunkts von der Querebene |
| 3 Querachse/radiale Richtung | 8 Mindestradius des Antastpunktes von der Drehachse |
| 4 Bezugsachse in der Querebene | 9 Abtastrichtung der Längsachse |
| 5 Winkelabstand der Querachse von der Bezugsachse | 10 längsgerichtete Abtastlänge |

Bild A.6 — Prüfverfahren von A.2.3, Abweichung der Geradheit in Längsrichtung

A.2.3.2.1 Prüfpunkte und Prüfbedingungen

Die Überwachungsprüfung der Abweichung der Geradheit in Längsrichtung muss mit einer ausreichenden Anzahl von Prüfpunkten und einem Messverfahren durchgeführt werden, das eine ausreichend kleine Messunsicherheit aufweist.

Die Konfiguration des Messkopfes, die Ausrichtung, die Richtung, die Drehgeschwindigkeit und die Einstellungsbedingungen des Geräts sollten vom Hersteller/Lieferanten festgelegt werden.

A.2.3.2.2 Prüflänge und -position

Die Prüflänge L_e dieser Abweichung sollte vom Hersteller/Lieferanten angegeben werden. Sofern nicht anders festgelegt, sollte die Prüflänge so lang wie möglich sein, bezogen auf die maximale Abtastlänge der Längsachse.

Die Messlinie auf dem Geradheitsnormal sollte so nah wie möglich an der Drehachse ausgerichtet werden.

A.2.3.3 Messnormal und Prüfverfahren

Die Abweichung der Geradheit in Längsrichtung muss mit einem geeigneten Normal mit einer geeigneten Messunsicherheit geprüft werden. Typische Messnormen sind in Anhang B aufgeführt. Bei der Prüfung der Konformität mit den Spezifikationen müssen ausreichende Prüfungen durchgeführt werden, um Vertrauen in die Ergebnisse zu schaffen. Das verwendete Normal muss die Auswertlänge abdecken.

Diese Abweichung wird als STR_t (siehe ISO 12780-1, 3.5.1) des gemessenen Geradheitsprofils des Geradheitsnormalen berechnet (siehe Bild A.7). Die Referenzanpassung sollte die Geradheitslinie der kleinsten Abweichungsquadrate ($LSLI$) sein (siehe ISO 12780-1). Sofern nicht anders festgelegt, ist die Standard-Filterbedingung die Unterdrückung kurzer Wellenlängen, $L_s = 2,5$ mm, Gauß, und die Standardwerte für den Abstand der Antastpunkte und den Radius des Tastelements basieren auf ISO 12181-2, Tabelle 1.