

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

VERBAND DER
ELEKTROTECHNIK
ELEKTRONIK
INFORMATIONSTECHNIK

Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten
Kenngrößen und deren Prüfung

Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360 für
Koordinatenmessgeräte mit CT-Sensoren

Accuracy of coordinate measuring machines
Characteristics and their testing

Guideline for the application of DIN EN ISO 10360 for coordinate
measuring machines with CT-sensors

VDI/VDE 2617

Blatt 13 / Part 13

Ausz. deutsch/englisch
Issue German/English

Computertomografie in der dimensionellen
Messtechnik

Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360 für
Koordinatenmessgeräte mit CT-Sensoren

Computed tomography in dimensional measurement

Guideline for the application of DIN EN ISO 10360 for
coordinate measuring machines with CT sensors

VDI/VDE 2630

Blatt 1.3 / Part 1.3

Ausz. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite
Vorbemerkung.....	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich.....	4
2 Grundlagen.....	5
3 Sensorarten.....	7
4 Annahmeprüfung.....	8
4.1 Antastabweichung.....	9
4.2 Längenmessabweichung	14
5 Überwachung.....	21
5.1 Prüfkörper.....	22
5.2 Durchführung.....	22
5.3 Auswertung.....	22
6 Material- und geometrieabhängiger Einfluss	23
6.1 Messung kalibrierter Werkstücke	23
6.2 Messung kalibrierter Prüfkörper	23
6.3 Prüfkörper.....	24
Anhang A Strukturauflösung für dimensionelle Messungen.....	28
A1 Motivation	28
A2 Einführung	29
A3 Testverfahren	30
A4 Strukturnormal.....	30
A5 Definition der Strukturauflösung für dimensionelle Messungen:.....	31
A6 Durchführung der Prüfung.....	31
A7 Mögliche Ausführungsform der Prüfung der Strukturauflösung für dimensionelle Messungen	31
A8 Angabe der Strukturauflösung für dimensionelle Messungen.....	31
Anhang B Gegenüberstellung Formelzeichen alte Schreibweise – neue Schreibweise.....	32
Schrifttum.....	33

Contents	Page
Preliminary note.....	2
Introduction	2
1 Scope	4
2 Fundamentals.....	5
3 Sensor types.....	7
4 Acceptance test.....	8
4.1 Probing error	9
4.2 Length measurement error.....	14
5 Monitoring.....	21
5.1 Test specimens	22
5.2 Implementation	22
5.3 Analysis.....	22
6 Material- and geometry-dependent effects	23
6.1 Measuring calibrated workpieces	23
6.2 Measuring calibrated test specimens	23
6.3 Test specimens	24
Annex A Structural resolution for dimensional measurements.....	28
A1 Rationale	28
A2 Introduction.....	29
A3 Test method.....	30
A4 Structural standard	30
A5 Definition of structural resolution for dimensional measurements.....	31
A6 Test implementation.....	31
A7 Variant for testing the structural resolution for dimensional measurements.....	31
A8 Stating the structural resolution for dimensional measurements.....	31
Annex B Synopsis: Old and new notation of symbols	32
Bibliography	33

VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)

Fachbereich Fertigungsmesstechnik

VDI/VDE-Handbuch Fertigungsmesstechnik
VDI/VDE Handbuch Mikro- und Feinwerktechnik
VDI-Handbuch Produktionstechnik und Fertigungsverfahren Band 3: Betriebsmittel

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser VDI-Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi-richtlinien.de), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Einleitung

In den Richtlinienreihen VDI/VDE 2630 und VDI/VDE 2617 sind Kenngrößen zur Beschreibung der Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten (KMG) mit Sensoren nach dem Prinzip der Röntgen-Computertomografie (CT-Sensor) festgelegt und Verfahren zu ihrer Prüfung beschrieben.

Die Richtlinienreihe **VDI/VDE 2630** besteht aus folgenden Blättern:

Grundlagen

- Blatt 1.1 Grundlagen und Definitionen
- Blatt 1.2 Einflussgrößen auf das Messergebnis und Empfehlungen für dimensionelle Computertomografie Messungen

Blatt 1.3 Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360 für Koordinatenmessgeräte mit CT-Sensoren

Blatt 1.4 Messverfahren und Vergleichbarkeit (geplant)

Unsicherheit/Prozesseignung/Kalibrierung

- Blatt 2.1 Ermittlung der Messunsicherheiten von Messungen mit CT Systemen (geplant)
- Blatt 2.2 Beurteilung der Prüfprozesseignung von CT-Messsystemen (geplant)
- Blatt 2.3 Parameterbestimmung von Computertomografen mittels Prüfkörper (geplant)

Softwaresysteme

Blatt 3.1 Softwaretest/Beurteilung der Leistungsfähigkeit (geplant)

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter der Richtlinienreihe VDI/VDE 2630 ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2630.

Preliminary note

The content of this guideline has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the guideline VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this guideline without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions specified in the VDI Notices (www.vdi-richtlinien.de).

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this guideline.

Introduction

The VDI/VDE 2630 and VDI/VDE 2617 Series of Guidelines specify characteristics serving to describe the accuracy of coordinate measuring machines (CMMs) with sensors relying on the principle of X-ray computed tomography (CT sensors), and describe procedures for checking these characteristics.

The **VDI/VDE 2630** Series of Guidelines consists of the following parts:

Basic principles

- Part 1.1 Fundamentals and definitions
- Part 1.2 Variables influencing measurement results, and recommendations for computed-tomography dimensional measurements

Part 1.3 Guideline for the application of DIN EN ISO 10360 for coordinate measuring machines with CT sensors

Part 1.4 Measurement procedures and comparability (in preparation)

Uncertainty/process suitability/calibration

- Part 2.1 Determination of measurement uncertainties in measurements using CT systems (in preparation)
- Part 2.2 Assessment of the testing process suitability of CT measurement systems (in preparation)
- Part 2.3 Determination of CT scanner parameters using test specimens (in preparation)

Software systems

Part 3.1 Software test/performance assessment (in preparation)

A catalogue of all available parts of the series of guidelines VDI/VDE 2630 can be accessed on the internet at www.vdi.de/2630.

Die Richtlinienreihe **VDI/VDE 2617** besteht aus folgenden Blättern:

- Blatt 2.1 Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360-2 zur Messung von Längenmaßen
- Blatt 2.2 Formmessung
- Blatt 2.3 Annahme- und Bestätigungsprüfung von Koordinatenmessgeräten großer Bauart
- Blatt 4 Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360-3 für Koordinatenmessgeräte mit Drehtisch
- Blatt 5 Überwachung durch Prüfkörper
- Blatt 5.1 Überwachung mit Kugelplatten
- Blatt 6 Koordinatenmessgeräte mit optischer Antastung; Grundlagen
- Blatt 6.1 Koordinatenmessgeräte mit optischer Antastung; Sensoren zur 2-D-Messung
- Blatt 6.2 Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360 für Koordinatenmessgeräte mit optischen Abstandssensoren
- Blatt 6.3 Multisensorik
- Blatt 7 Ermittlung der Unsicherheit von Messungen auf Koordinatenmessgeräten durch Simulation
- Blatt 8 Prüfprozesseignung von Messungen mit Koordinatenmessgeräten
- Blatt 9 Gelenkarm-KMG
- Blatt 10 Annahme- und Bestätigungsprüfung von Lasertrackern
- Blatt 11 Aufgabenspezifische Messunsicherheit bei Messungen mit KMG
- Blatt 12 Annahme- und Bestätigungsprüfungen für Koordinatenmessgeräte zum taktilen Messen von Mikrogeometrien
- Blatt 13** Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360 für Koordinatenmessgeräte mit CT-Sensoren

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter der Richtlinienreihe VDI/VDE 2617 ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2617.

The **VDI/VDE 2617** Series of Guidelines consists of the following parts:

- Part 2.1 Code of practice for the application of DIN EN ISO 10360-2 for length measurement
- Part 2.2 Form measurement
- Part 2.3 Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines of large dimensions
- Part 3 Guideline for the application of DIN EN ISO 10360-3 for coordinate measuring machines with additional axes of rotation
- Part 5 Interim check using artefacts
- Part 5.1 Interim check using ball plates
- Part 6 Coordinate measuring machines with optical probing; Basics
- Part 6.1 Coordinate measuring machines with optical probing; 2D sensors
- Part 6.2 Guideline for the application of DIN EN ISO 10360 for coordinate measuring machines with optical distance sensors
- Part 6.3 Multiple probing systems
- Part 7 Estimation of measurement uncertainty of coordinate measuring machines by means of simulation
- Part 8 Test suitability of measurements with coordinate measuring machines
- Part 9 Articulated arm coordinate measuring machines
- Part 10 Acceptance and reverification tests for laser trackers
- Part 11 Task-specific measurement uncertainty in CMM measurements
- Part 12 Acceptance and reverification tests for tactile CMM measuring microgeometries
- Part 13** Guideline for the application of DIN EN ISO 10360 for coordinate measuring machines with CT sensors

A catalogue of all available parts of the series of guidelines VDI/VDE 2617 can be accessed on the internet at www.vdi.de/2617.

1 Anwendungsbereich

Zweck dieser Richtlinie ist es, für Koordinatenmessgeräte (KMG) mit Sensoren nach dem Prinzip der Röntgen-Computertomografie (CT-Sensor, siehe Definition in VDI/VDE 2630 Blatt 1.1) Spezifikationen und Verfahren zu deren Prüfung zu definieren. Hierbei wird die Vergleichbarkeit zu Kenngrößen von Koordinatenmessgeräten mit taktilen und mit optischen Sensoren angestrebt. Die in dieser Richtlinie beschriebenen Kenngrößen dienen der Spezifikation von Koordinatenmessgeräten mit CT-Sensoren sowie dem Vergleich unterschiedlicher Messsysteme.

Der Geltungsbereich bezieht sich auf Koordinatenmessgeräte mit den in Abschnitt 2 beschriebenen Sensorarten. Die Koordinatenmessgeräte können auch Zusatzeinrichtungen wie Dreh- oder Schwenkachsen beinhalten. Funktionsweise und Besonderheiten der CT-Sensorik werden erläutert.

In enger Anlehnung an DIN EN ISO 10360-2 werden die Verfahren für die Annahmeprüfung und für die Überwachung der Längenmessabweichung und der Antastabweichung mit CT-Sensoren definiert. Die Normenreihe DIN EN ISO 10360 ist in der bisher vorliegenden Form sehr stark an taktilen Sensoren orientiert. Deshalb legt diese Richtlinie für die Anwendung von CT-Sensoren notwendige Ergänzungen fest:

- alternativ zu Endmaßen verwendbare Normale
- Vergleichbarkeit der Kenngrößen bei Verwendung von alternativen Normalen (beispielsweise mit kugelförmigen Begrenzungsflächen)
- Vergleichbarkeit der Kenngrößen bei unterschiedlichen Antaststrategien (unterschiedliche Punkteanzahl, Abdeckungsgrad der anzutastenden Elemente)
- Definition der Kenngrößen für unterschiedliche Betriebsbedingungen
- Hinweise zum Umgang mit Einflussgrößen wie Umgebungsbedingungen, mathematischen Filtern und der Oberflächenbeschaffenheit der Prüfkörper
- Erfassung von material- und geometrieabhängigen Einflüssen sowie Definition und Beschreibung von geeigneten Kenngrößen der material- und geometrieabhängigen Maß- und Formabweichung

Nicht Inhalt dieser Richtlinie sind Verfahren für CT-Anlagen für die Materialprüfung und medizinische Zwecke.

Verfahren zur Eignungsprüfung ([3], VDI/VDE 2617 Blatt 8), Fähigkeitsuntersuchung [1; 2],

1 Scope

The purpose of this guideline is to define specifications and procedures for testing coordinate measuring machines (CMMs) with sensors relying on the principle of X-ray computed tomography (CT sensors) (see VDI/VDE 2630 Part 1.1 for a definition). The intention is to achieve comparability with the characteristics of coordinate measuring machines with tactile and with optical sensors. The characteristics described in this guideline serve for the specification of coordinate measuring machines with CT sensors and for a comparison between various measurement systems.

The guideline covers coordinate measuring machines using the sensor types described in Section 2. The CMMs can also contain additional systems such as rotational or swing axes. The functions and special features of CT sensor systems are explained.

In close reliance on DIN EN ISO 10360-2, the guideline defines the procedures for acceptance testing and for the monitoring of length measurement error and probing errors when using CT sensors. The DIN EN ISO 10360 series of standards in its current form is oriented very strongly towards tactile sensors. Therefore, this guideline specifies the additional aspects necessary when using CT sensors:

- measurement standards usable as alternatives to gauge blocks
- comparability of the characteristics when using alternative standards (e.g. with spherical boundary surfaces)
- comparability of the characteristics under different probing strategies (different number of points, degree of coverage of the features to be probed)
- definition of the characteristics for various operating conditions
- notes on the handling of influence quantities such as environmental conditions, mathematical filters and the surface condition of the test specimens
- taking into account of material- and geometry-dependent effects plus definition and description of suitable characteristics of material- and geometry-dependent errors of size and form

This guideline does not deal with procedures relating to CT systems for material testing and medical purposes.

This guideline does not cover procedures for suitability testing ([3], VDI/VDE 2617 Part 8), qualifi-

Unsicherheitsabschätzung (DIN V ENV 13005) oder Bestimmung der Messunsicherheit am realen Werkstück sind nicht Gegenstand dieser Richtlinie. Der Anwender wird darauf hingewiesen, dass bei der Messung von Prüfkörpern geringere Abweichungen auftreten können, als bei der Messung realer Werkstücke, da vereinfachte Werkstückgeometrien und idealisierte Materialzusammensetzungen und Oberflächen zum Einsatz kommen. In jedem Fall ist es für den Anwender empfehlenswert, an seinen anwendungstypischen Materialien weitere Untersuchungen im Sinne einer Prüfprozesseignung durchzuführen, z.B. eine Messunsicherheitsbestimmung nach VDI/VDE 2630 Blatt 2.1.

Nicht behandelt werden in dieser Richtlinie die Analyse von Einzelkomponenten des Messgeräts in ihrem Verhalten, die Behandlung von Korrekturverfahren oder ähnlichem und der Einfluss von Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Schwingungen usw.

Zur Spezifikation und Überprüfung einzelner Komponenten von CT-Sensoren wie Detektoren und Röntgenquellen werden Richtlinien durch verschiedene nationale und internationale Gremien definiert. Diese finden bei der Zusammenarbeit von Komponenten- und Geräteherstellern bei der Systemintegration Anwendung. Sie kommen nicht für die Spezifikation und Überprüfung von Koordinatenmessgeräten im Verhältnis zwischen Hersteller und Anwender zum Einsatz.

Anmerkung: Die Überprüfung der Leistungsfähigkeit mehrerer Sensoren beim kombinierten Messen z.B. in Multisensor-Koordinatenmessgeräten ist nicht Gegenstand dieser Richtlinie. Die Annahmeprüfung solcher Geräte und Betriebsarten kann z.B. nach VDI/VDE 2617 Blatt 6.3 erfolgen, der Einsatz des CT-Sensors ist dabei geeignet zu spezifizieren.

Alle in dieser Richtlinie angewandten Ausgleichsverfahren werden nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate (*Gauß*) bei freiem Radius berechnet.

calculation assessment [1; 2], uncertainty estimation (DIN V ENV 13005) or determination of measurement uncertainties by using real workpieces. Users are advised of the fact that measurement errors can be smaller in measuring test specimens than in measuring real workpieces, because simplified workpiece geometries and idealised material compositions and surfaces are used in the former case. In any case, users are recommended to perform additional investigations on the materials typical for their particular applications, to establish testing process suitability, e.g. by determining the measurement uncertainty in accordance with VDI/VDE 2630 Part 2.1.

This guideline does not deal with the analysis of the behaviour of individual components of the measuring device, the handling of correction methods or the like, and the effect of environmental conditions such as temperature, vibrations, etc.

Various national and international committees define guidelines for the specification and testing of individual components of CT sensors such as detectors and X-ray sources. These are used during the collaboration between manufacturers offering components and devices, in the context of system integration. They are not used for the specification and testing of coordinate measuring machines in the relationship between manufacturers and end users.

Note: This guideline does not cover the performance testing of several sensors during combined measurements, e.g. in multisensor coordinate measuring devices. The acceptance tests for such devices and operating modes can be performed according to, e.g., VDI/VDE 2617 Part 6.3, with the CT sensor's use being specified appropriately.

All the regression methods used in this guideline are based on the least squares (Gaussian) method with a free radius.