

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

VERBAND DER  
ELEKTROTECHNIK  
ELEKTRONIK  
INFORMATIONSTECHNIK

Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten  
Kenngrößen und deren Prüfung  
Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360-7 für  
Koordinatenmessgeräte mit Bildverarbeitungssystemen  
Accuracy of coordinate measuring machines  
Characteristics and their testing  
Code of practice for the application of  
DIN EN ISO 10360-7 for coordinate measuring  
machines equipped with imaging probing systems

VDI/VDE 2617

Blatt 6.1 / Part 6.1

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

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

| Inhalt   | Seite     | Contents   | Page      |
|--|-----------|--|-----------|
| Vorbemerkung .....   | 3         | Preliminary note.....  | 3         |
| Einleitung.....  | 3         | Introduction.....  | 3         |
| <b>1 Anwendungsbereich.....</b>  | <b>4</b>  | <b>1 Scope.....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>2 Normative Verweise.....</b>   | <b>6</b>  | <b>2 Normative references.....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>3 Begriffe.....</b>   | <b>6</b>  | <b>3 Terms and definitions.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>4 Hilfsgrößen und Kenngrößen.....</b>   | <b>7</b>  | <b>4 Auxiliary variables and characteristics.....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>5 Wesentliche Unterschiede der DIN EN ISO 10360-7 zur bisherigen Richtlinie VDI/VDE 2617 Blatt 6.1 von 2007.....</b>                      | <b>10</b> | <b>5 Significant differences between the standard DIN EN ISO 10360-7 and the previous standard VDI/VDE 2617 Part 6.1 of 2007.....</b>                          | <b>10</b> |
| 5.1 Räumlicher vs. Komponentenansatz.....  | 10        | 5.1 Spatial vs. component approach.....  | 10        |
| 5.2 Bi- vs. unidirektionale Kenngrößen.....  | 11        | 5.2 Bi- vs. unidirectional characteristics.....  | 11        |
| 5.3 Empfehlungen.....  | 11        | 5.3 Recommendations.....   | 11        |
| <b>6 Erläuterungen und Ergänzungen zu Abschnitt 5.3 der DIN EN ISO 10360-7 – Anforderungen an verschiedene KMG mit Bildverarbeitung.....</b> | <b>12</b> | <b>6 Explanations and clarifications regarding Clause 5.3 of DIN EN ISO 10360-7 – Requirements for various CMMs equipped with imaging probing systems.....</b> | <b>12</b> |
| 6.1 Anmerkung/Hinweise zu Abschnitt 5.3.2 – Längenmessabweichung.....  | 12        | 6.1 Note/information regarding Clause 5.3.2 – Length measurement error.....  | 12        |
| 6.2 Anmerkung/Hinweise zu Abschnitt 5.3.3 – Antastabweichungen....   | 13        | 6.2 Note/information regarding Clause 5.3.3 – Probing errors.....  | 13        |
| 6.3 Anmerkung/Hinweise zu Abschnitt 5.3.4 – Wiederholspannweite der Längenmessabweichung $R_B$ oder $R_U$ ..                                 | 14        | 6.3 Note/information regarding Clause 5.3.4 – Repeatability range of the length measurement error $R_B$ or $R_U$ ....  | 14        |
| <b>7 Erläuterungen und Ergänzungen zu Abschnitt 6 – Annahmeprüfungen und Bestätigungsprüfungen.....</b>                                      | <b>14</b> | <b>7 Explanations and clarifications regarding Clause 6 – Acceptance tests and reverification tests.....</b>   | <b>14</b> |
| 7.1 Abschnitt 6.2 – Längenmessabweichung.....  | 14        | 7.1 Clause 6.2 – Length measurement error.....   | 14        |
| 7.2 Abschnitt 6.3 – Rechtwinkligkeitsabweichung $E_{SQ}$ .....   | 17        | 7.2 Clause 6.3 – Squareness error $E_{SQ}$ .....   | 17        |
| 7.3 Abschnitt 6.4 – Wiederholspannweite der Längenmessabweichung $R_B$ oder $R_U$ ..   | 17        | 7.3 Clause 6.4 – Repeatability range of the length measurement error $R_B$ or $R_U$ .....  | 17        |
| 7.4 Abschnitt 6.5 – Antastabweichung $P_{F2D}$ .....   | 17        | 7.4 Clause 6.5 – Probing error $P_{F2D}$ .....   | 17        |
| 7.5 Abschnitt 6.6 – Antastabweichung des Bildverarbeitungssystems $P_{FV2D}$ .....   | 18        | 7.5 Clause 6.6 – Probing error of the imaging probing system $P_{FV2D}$ .....  | 18        |

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

Fachbereich Fertigungsmesstechnik

VDI/VDE-Handbuch Fertigungsmesstechnik  
VDI-Handbuch Produktionstechnik und Fertigungsverfahren, Band 1: Grundlagen und Planung  
VDI/VDE Handbuch Optische Technologien

| Inhalt   | Seite |
|--|-------|
| <b>8 Erläuterungen und Ergänzungen zu Abschnitt 7 – Übereinstimmung mit Festlegungen</b> .....   | 19    |
| <b>9 Erläuterungen und Ergänzungen zum normativen Anhang B.4 – Gleichwertige bidirektionale Prüflängen durch unidirektionale Messungen</b> ..... | 20    |
| 9.1 Korrekturmaßnahmen bei nicht bidirektionaler Einzelpunktantastung.....   | 20    |
| 9.2 Methode 1 – Ergänzende bidirektionale Messung einer kurzen Prüflänge.....  | 20    |
| 9.3 Methode 2 – Ergänzende Berücksichtigung der Antastabweichungen.....  | 21    |
| <b>Anhang A</b> Optische Sensoren zur Messung lateraler Strukturen.....  | 22    |
| A1 Beispiele.....  | 22    |
| A2 Funktionsweise.....   | 22    |
| A3 Beleuchtung – Voraussetzung für sicheres Messen.....  | 23    |
| A4 Abbildungsoptik – Flexible Vergrößerungswahl.....   | 25    |
| A5 Quellen der Messabweichung bei visuellen Sensoren.....  | 27    |
| A6 Punktförmige Sensoren.....  | 30    |
| A7 Zeilenförmige Sensoren.....   | 31    |
| A8 Flächenförmige Sensoren – Bildverarbeitungssensor.....  | 31    |
| <b>Anhang B</b> Strukturauflösung.....   | 36    |
| B0 Zusätzliche Hilfsgrößen und Abkürzungen in Anhang B.....  | 36    |
| B1 Einführung.....   | 36    |
| B2 Stand der Technik.....  | 38    |
| B3 Bestimmung der Ortsfrequenzauflösung mit einer Kante als Prüfeinrichtung.....   | 39    |
| B4 Bestimmung der Ortsfrequenzauflösung mit Auflösungsplatten als Prüfmittel.....  | 40    |
| B5 Bestimmung der Modulationsübertragungsfunktion aus der Systemfunktion.....  | 41    |
| <b>Anhang C</b> Prüfung von Koordinatenmessgeräten mit Bildverarbeitungssystemen unter zusätzlicher Verwendung von Dreh-Schwenk-Gelenken.....    | 43    |
| Glossar.....   | 45    |
| Schrifttum.....  | 46    |

| Contents   | Page |
|--|------|
| <b>8 Explanations and clarifications regarding Clause 7 – Compliance with specifications</b> .....   | 19   |
| <b>9 Explanations and clarifications regarding normative Annex B.4 – Equivalent bidirectional measurements using unidirectional test lengths</b> ..... | 20   |
| 9.1 Corrective measures for single point probing that is not bidirectional.....  | 20   |
| 9.2 Method 1 – Additional bidirectional measurement of a short test length.....  | 20   |
| 9.3 Method 2 – Additional consideration of the probing errors.....   | 21   |
| <b>Annex A</b> Optical sensors for measuring lateral structures.....   | 22   |
| A1 Examples.....   | 22   |
| A2 Function.....   | 22   |
| A3 Illumination – Prerequisite for reliable measurement.....   | 23   |
| A4 Imaging optics – Flexible magnification options.....  | 25   |
| A5 Sources of measurement error with visual sensors.....   | 27   |
| A6 Point-type sensors.....   | 30   |
| A7 Line-type sensors.....  | 31   |
| A8 Surface-type sensors – Imaging probing sensor.....  | 31   |
| <b>Annex B</b> Structure resolution.....   | 36   |
| B0 Additional auxiliary variables and abbreviations in Annex B.....  | 36   |
| B1 Introduction.....   | 36   |
| B2 State of the art.....   | 38   |
| B3 Determining spatial frequency resolution with an edge as a testing unit.....  | 39   |
| B4 Determining spatial frequency resolution with a resolution plate as a gage.....   | 40   |
| B5 Determining the modulation transfer function from the system function.....  | 41   |
| <b>Annex C</b> Testing coordinate measuring machines with imaging probing systems with the additional use of articulating probing systems.....         | 43   |
| Glossary.....  | 45   |
| Bibliography.....  | 46   |

## 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 Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

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

## Einleitung

In der Richtlinienreihe VDI/VDE 2617 sind Kenngrößen zur Beschreibung der Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten (KMG) festgelegt und Verfahren zu ihrer Prüfung beschrieben. Die Richtlinienreihe besteht zurzeit aus folgenden Blättern:

- |                  |   |
|------------------|---|
| Blatt 2.1        | Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360-2 zur Messung von Längenmaßen                                    |
| Blatt 2.2        | Formmessung mit Koordinatenmessgeräten  |
| Blatt 4          | Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360-3 für Koordinatenmessgeräte mit zusätzlichen Drehachsen          |
| Blatt 5          | Überwachung durch Prüfkörper  |
| Blatt 5.1        | Überwachung mit Kugelplatten  |
| <b>Blatt 6.1</b> | <b>Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360-7 für Koordinatenmessgeräte mit Bildverarbeitungssystemen</b> |
| Blatt 6.2        | Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360-8 für Koordinatenmessgeräte mit optischen Abstandssensoren       |
| Blatt 7          | Ermittlung der Unsicherheit von Messungen auf Koordinatenmessgeräten durch Simulation                         |
| Blatt 8          | Prüfprozesseignung von Messungen mit Koordinatenmessgeräten   |
| Blatt 9          | Annahme- und Bestätigungsprüfung von Gelenkarm-Koordinatenmessgeräten   |
| Blatt 10         | Annahme- und Bestätigungsprüfung von Lasertrackern  |

## Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard 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 standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)) specified in the VDI Notices.

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

## Introduction

The series of standards VDI/VDE 2617 defines the characteristics used for describing the accuracy of coordinate measuring machines (CMMs) and provides descriptions of the methods using for testing them. The series of standards currently 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 with coordinate measuring machines   |
| Part 4          | Manual for the use of DIN EN ISO 10360-3 for coordinate measuring machines with additional axes of rotation                               |
| Part 5          | Interim check with artefacts  |
| Part 5.1        | Interim check with ball plates  |
| <b>Part 6.1</b> | <b>Code of practice for the application of DIN EN ISO 10360-7 for coordinate measuring machines equipped with imaging probing systems</b> |
| Part 6.2        | Guideline for the application of DIN EN ISO 10360-8 to coordinate measuring machines with optical distance sensors                        |
| Part 7          | Estimation of measurement uncertainty of coordinate measuring machines by means of simulation   |
| Part 8          | Test process suitability of measurements with coordinate measuring machines   |
| Part 9          | Acceptance and reverification tests for articulated arm coordinate measuring machines   |
| Part 10         | Acceptance and reverification tests of lasertrackers  |

- Blatt 10.1 Lasertracker mit Multisensorik
- Blatt 11 Ermittlung der Unsicherheit von Messungen auf Koordinatenmessgeräten durch Messunsicherheitsbilanzen
- Blatt 12.1 Annahme- und Bestätigungsprüfungen für Koordinatenmessgeräte zum taktilen Messen von Mikrogeometrien
- Blatt 12.2 Annahme- und Bestätigungsprüfungen für Koordinatenmesssysteme zum optischen Messen von Mikrogeometrien in Anlehnung an DIN EN ISO 10360-8 und VDI/VDE 2617 Blatt 6.2 (Entwurf)
- Blatt 13 Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360 für Koordinatenmessgeräte mit CT-Sensoren

- Part 10.1 Laser trackers with multiple probing systems
- Part 11 Determination of the uncertainty of measurement for coordinate measuring machines using uncertainty budgets
- Part 12.1 Acceptance and reverification tests for tactile CMM measuring microgeometries
- Part 12.2 Acceptance and reverification tests for optical CMM measuring microgeometries according to DIN EN ISO 10360-8 and VDI/VDE 2617 Part 6.2 (Draft)
- Part 13 Guideline for the application of DIN EN ISO 10360 for coordinate measuring machines with CT-sensors

Eine Liste der aktuell verfügbaren und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/2617](http://www.vdi.de/2617).

Abschnitt 3 dieser Richtlinie präzisiert Begriffe aus der DIN EN ISO 10360-7. Zusätzlich werden Begriffe eingeführt, die für die Nutzung dieser Norm und der vorliegenden Richtlinie hilfreich sind.

Abschnitt 5 enthält eine Übersicht wesentlicher Unterschiede der Norm DIN EN ISO 10360-7 zur Richtlinie VDI/VDE 2617 Blatt 6.1 von 2007.

Abschnitt 6 und folgende erläutern die Anwendung von DIN EN ISO 10360-7.

Anhang A beschreibt optische Sensoren zur Messung lateraler Strukturen und Hinweise für deren Anwendung. Diese Beschreibung wurde weitgehend dem Hauptteil der VDI/VDE 2617 Blatt 6.1 von 2007 entnommen.

Als Anhang B wurde Anhang A „Strukturauflösung“ der Fassung von 2007 übernommen.

**Anmerkung:** Strukturauflösung bezieht sich hier auf die Messbarkeit einer Struktur. Die Strukturauflösung ist zu unterscheiden von der Auflösungsgrenze, die aus der Mikroskopie kommend anhand der Erkennbarkeit eines vorhandenen Strukturübergangs definiert ist und den physikalischen Grenzwert der Strukturauflösung darstellt.

Anhang C erläutert die Prüfung von Koordinatenmessgeräten mit Bildverarbeitungssystemen unter zusätzlicher Verwendung eines Dreh-Schwenk-Gelenks.

## 1 Anwendungsbereich

Die Norm DIN EN ISO 10360-1 enthält Begriffe für die Annahme- und die Bestätigungsprüfung von Koordinatenmessgeräten (KMG). Die Norm DIN EN ISO 10360-7 beschreibt die Annahme- und

A catalogue of all available parts of this series of standards and those in preparation as well as further information, if applicable, can be accessed on the Internet at [www.vdi.de/2617](http://www.vdi.de/2617).

Section 3 of this standard clarifies terms and definitions from DIN EN ISO 10360-7. In addition, terms and definitions are introduced which are helpful for using both this entire standard and the present standard.

Section 5 contains an overview of significant differences between the standard DIN EN ISO 10360-7 and the standard VDI/VDE 2617 Part 6.1 of 2007.

Section 6 and the following explain the application of DIN EN ISO 10360-7.

Annex A describes optical sensors for measuring lateral structures and information regarding their application. For the most part, this description was taken from the main section of VDI/VDE 2617 Part 6.1 of 2007.

Annex A “Structure resolution” of the 2007 version was adopted as Annex B.

**Note:** Here, structure resolution refers to the measurability of a structure. The structure resolution shall be differentiated from the resolution limit, which is defined as in microscopy based on the identifiability of an existing structure transition and which represents the physical limit value of the structure resolution.

Annex C explains the testing of coordinate measuring machines equipped with imaging probing systems if an articulating probing system is also in use.

## 1 Scope

The standard DIN EN ISO 10360-1 contains terms and definitions for the acceptance test and the reverification test of coordinate measuring machines (CMMs). The standard DIN EN ISO 10360-7 de-

Bestätigungsprüfungen für Koordinatenmessgeräte mit Bildverarbeitungssystemen unter Einschluss von Wellenmessgeräten und die Nutzung besonderer Prüfkörper für diese Koordinatenmessgeräte. Bisher wurden derartige Prüfungen in der Richtlinie VDI/VDE 2617 Blatt 6.1 von 2007 mit einem weiter gefassten Anwendungsbereich, der alle optischen Sensoren zur Messung lateraler Strukturen umfasst, beschrieben.

Die vorliegende Richtlinie erläutert die Anwendung der Norm DIN EN ISO 10360-7 und gibt ergänzende Hinweise und Empfehlungen zur Durchführung der Annahme- und Bestätigungsprüfungen.

#### **Wichtiger Hinweis**

Diese Richtlinie enthält nicht die vollständige Beschreibung der Prüfprozeduren. Die Kenntnis der Norm DIN EN ISO 10360-7 wird zum Verständnis der vorliegenden Richtlinie als Leitfaden zur Anwendung der Norm vorausgesetzt.

Erläutert werden Annahme- und Bestätigungsprüfungen für KMG mit Bildverarbeitungssystemen. Diese können nach Absprache zwischen Hersteller und Anwender auch für die Prüfung anderer Sensoren für laterale Strukturen angewendet werden.

In Fällen, in denen das Koordinatenmessgerät mit einem optischen Bildverarbeitungssystem und anderen Typen von Tastkopfsystemen ausgestattet ist (z.B. zusätzlich mit einem taktilen Tastkopfsystem), soll der Test der Längenmessabweichung nur mit dem vom Hersteller für diesen Test festgelegten Tastkopfsystem unter Nutzung der dafür gültigen Norm (z.B. DIN EN ISO 10360-2 für taktile Tastkopfsysteme) durchgeführt werden. Dies ist in der Spezifikation darzustellen. Eine separate Prüfung der Längenmessabweichung mit jedem Tastsystem des Koordinatenmessgeräts ist nicht erforderlich.

Ist das Koordinatenmessgerät ausschließlich mit einem Bildverarbeitungssystem ausgestattet, so ist der Test der Längenmessabweichung mit diesem Tastkopfsystem gemäß DIN EN ISO 10360-7 durchzuführen.

Die Annahme- und Bestätigungsprüfungen für Koordinatenmessgeräte mit optischen Abstandssensoren werden in der Norm DIN EN ISO 10360-8 beschrieben.

Die in beiden Normen beschriebenen Prüfungen sind so gestaltet, dass die Vergleichbarkeit der Kenngrößen von Koordinatenmessgeräten mit taktilen und mit optischen Sensoren sichergestellt ist.

scribes the acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines equipped with imaging probing systems, including shaft measuring machines and the use of special artefacts for these coordinate measuring machines. Previously, these types of tests were described in the standard VDI/VDE 2617 Part 6.1 of 2007 with an additional scope section that includes all optical sensors for measuring lateral structures.

The present standard explains the application of the standard DIN EN ISO 10360-7 and provides additional information and recommendations for carrying out the acceptance and reverification tests.

#### **Important remark**

This standard does not contain the complete description of the test procedures. Knowledge of the standard DIN EN ISO 10360-7 is required in order to understand the present standard as a guide for applying the entire standard.

The acceptance and reverification tests for CMMs equipped with imaging probing systems are explained. If agreed between the manufacturer and the user, these tests can also be applied for testing other sensors for lateral structures.

In cases where the coordinate measuring machine is equipped with an optical imaging probing system and other types of probing systems (e.g. an additional tactile probing system), the test of length measurement error shall only be performed with the probing system specified by the manufacturer for this test and using the respective applicable standard (e.g. DIN EN ISO 10360-2 for tactile probing systems). This shall be indicated in the specification. A separate test of length measurement error with each probing system of the coordinate measuring machine is not required.

If the coordinate measuring machine is equipped only with an imaging probing system, the test of length measurement error with this probing system shall be performed according to DIN EN ISO 10360-7.

The acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines with optical distance sensors are described in the standard DIN EN ISO 10360-8.

The tests described in both standards are designed to ensure the comparability of the characteristics of coordinate measuring machines with tactile and optical sensors.

## 2 Normative Verweise

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich:

DIN EN ISO 10360-1:2003-07 Geometrische Produktspezifikation (GPS); Annahmeprüfung und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG); Teil 1: Begriffe (ISO 10360-1:2000 + Corr 1:2002 (enthält Berichtigung AC:2002); Deutsche Fassung EN ISO 10360-1:2000 + AC:2002

DIN EN ISO 10360-7:2011-09 Geometrische Produktspezifikation (GPS); Annahme- und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte (KMG); Teil 7: KMG mit Bildverarbeitungssystemen (ISO 10360-7:2011); Deutsche Fassung EN ISO 10360-7:2011

## 2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this standard:

DIN EN ISO 10360-1:2003-07 Geometrical Product Specifications (GPS); Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM); Part 1: Vocabulary (ISO 10360-1:2000 + Corr 1:2002) (includes Corrigendum AC:2002); German version EN ISO 10360-1:2000 + AC:2002

DIN EN ISO 10360-7:2011-09 Geometrical product specifications (GPS); Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM); Part 7: CMMs equipped with imaging probing systems (ISO 10360-7:2011); German version EN ISO 10360-7:2011