

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

VERBAND DER  
ELEKTROTECHNIK  
ELEKTRONIK  
INFORMATIONSTECHNIK

Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten  
Kenngößen und deren Prüfung  
Ermittlung der Unsicherheit von Messungen auf  
Koordinatenmessgeräten durch Messunsicherheitsbilanzen

Accuracy of coordinate measuring machines  
Characteristics and their checking  
Determination of the uncertainty of measurement for  
coordinate measuring machines using uncertainty budgets

VDI/VDE 2617

Blatt 11 / Part 11

Ausg. 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	Contents	Page
Vorbemerkung . . . . .	2	Preliminary note . . . . .	2
Einleitung . . . . .	2	Introduction . . . . .	2
<b>1 Anwendungsbereich . . . . .</b>	<b>3</b>	<b>1 Scope . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>2 Formelzeichen . . . . .</b>	<b>4</b>	<b>2 Symbols . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>3 Rechnerische Ermittlung der Messunsicherheit . . . . .</b>	<b>5</b>	<b>3 Calculation of the uncertainty of measurement . . . . .</b>	<b>5</b>
3.1 Einleitung . . . . .	5	3.1 Introduction . . . . .	5
3.2 Messunsicherheitsbilanz . . . . .	6	3.2 Measurement uncertainty budget . . . . .	6
3.3 Voraussetzungen und Grenzen des Verfahrens . . . . .	9	3.3 Requirements and limits of the procedure . . . . .	9
<b>4 Einflussgrößen bei Koordinatenmessungen . . . . .</b>	<b>10</b>	<b>4 Influence quantities in coordinate measurements . . . . .</b>	<b>10</b>
4.1 Allgemeines . . . . .	10	4.1 General . . . . .	10
4.2 Werkstückoberfläche . . . . .	12	4.2 Workpiece surface . . . . .	12
4.3 Taster und Tastersysteme . . . . .	14	4.3 Styli and stylus systems . . . . .	14
4.4 Geometrieabweichungen . . . . .	14	4.4 Geometrical errors . . . . .	14
4.5 Temperatur . . . . .	15	4.5 Temperature . . . . .	15
<b>Anhang A Faktoren für die Formelementeparameter . . . . .</b>	<b>17</b>	<b>Annex A Factors for the feature parameters . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>Anhang B Geometrieabweichungen von Koordinatenmessgeräten . . . . .</b>	<b>20</b>	<b>Annex B Geometrical errors of coordinate measuring machines . . . . .</b>	<b>20</b>
<b>Anhang C Beispiele . . . . .</b>	<b>25</b>	<b>Annex C Examples . . . . .</b>	<b>25</b>
Schrifttum . . . . .	35	Bibliography . . . . .	35

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

Fachbereich Fertigungsmesstechnik

### 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](http://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 der Richtlinienreihe VDI/VDE 2617 sind Kenngrößen für die 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 Prüfung 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 zusätzlichen Drehachsen
- Blatt 5 Überwachung durch Prüfkörper
- Blatt 5.1 Überwachung mit Kugelplatten
- Blatt 6.1 Koordinatenmessgeräte mit optischer Antastung; Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360 für Koordinatenmessgeräte mit optischen Sensoren für laterale Strukturen
- Blatt 6.2 Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360 für Koordinatenmessgeräte mit optischen Abstandssensoren
- Blatt 6.3 Koordinatenmessgeräte mit Multisensorik
- Blatt 7 Ermittlung der Unsicherheit von Messungen auf Koordinatenmessgeräten durch Simulation
- Blatt 8 Prüfprozesseignung von Messungen mit Koordinatenmessgeräten

### 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](http://www.vdi-richtlinien.de)).

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

### Introduction

The VDI/VDE 2617 Series of Guidelines specifies characteristics serving to describe the accuracy of coordinate measuring machines (CMMs), and describes procedures for checking these characteristics. The series of guidelines presently 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 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
- Part 6.1 Coordinate measuring machines with optical probing; Code of practice for the application of DIN EN ISO 10360 to coordinate measuring machines with optical sensors for lateral structures
- Part 6.2 Guideline for the application of DIN EN ISO 10360 to coordinate measuring machines with optical distance sensors
- Part 6.3 Coordinate measuring machines with 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

Blatt 9	Annahme- und Bestätigungsprüfung von Gelenkarm-Koordinatenmessgeräten
Blatt 10	Annahme- und Bestätigungsprüfung von Lasertrackern
<b>Blatt 11</b>	<b>Ermittlung der Unsicherheit von Messungen auf Koordinatenmessgeräten durch Messunsicherheitsbilanzen</b>
Blatt 12.1	Annahme- und Bestätigungsprüfung für Koordinatenmessgeräte zum taktilen Messen von Mikrogeometrien
Blatt 13	Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360 für Koordinatenmessgeräte mit CT-Sensoren

**Anmerkung:** Im Rahmen der Richtlinienreihe VDI/VDE 2617 sind mehrere Blätter verfügbar, weitere sind in Arbeit. Die einzelnen Blätter der Richtlinie gliedern sich in eine Ordnungsstruktur ein. Eine Liste der aktuell verfügbaren sowie geplanten Blätter dieser Richtlinie sowie deren Strukturierung sind im Internet unter [www.vdi-richtlinien.de/2617](http://www.vdi-richtlinien.de/2617) abrufbar.

Die Norm DIN EN ISO 10360-1 enthält Begriffe für die Annahme- und die Bestätigungsprüfung von Koordinatenmessgeräten. Die Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Koordinatenmessgeräten ist in DIN EN ISO 10360-2 beschrieben. Die dort angegebenen Prüfverfahren eignen sich jedoch nicht zur Beurteilung der aufgabenspezifischen Messunsicherheit von Messungen beliebiger Prüfmerkmale. Dazu sind in Blatt 7 und Blatt 8 dieser Richtlinienreihe zwei Verfahren beschrieben. In dieser Richtlinie wird auf Grundlage von DIN V ENV 13005 (GUM) sowie DIN 1319-4 eine alternative Vorgehensweise angegeben. Dabei werden die mathematischen Modelle der Messaufgaben aufgestellt und entsprechend der Methode B des GUM die Unsicherheitsbeiträge der einzelnen Einflussgrößen aus bekannten Informationen bestimmt.

Das Verfahren folgt einem analytischen (rechnerischen) Ansatz, bei dem man mit relativ geringem Aufwand im Regelfall eine Überschätzung der Messunsicherheit erreicht, während für eine bessere Abschätzung ein höherer Aufwand erforderlich sein kann. Ob das notwendig ist, kann z.B. anhand des Verhältnisses der Messunsicherheit zur Toleranz nach VDI/VDE 2617 Blatt 8 entschieden werden.

## 1 Anwendungsbereich

Die Richtlinie beschreibt eine mögliche Vorgehensweise zur Bestimmung der aufgabenspezifischen Messunsicherheit von Koordinatenmessungen. Damit lassen sich Messunsicherheiten bei der Prüfung von Werkstücken in der betrieblichen Praxis bestimmen, um sie nach DIN EN ISO 14253-1 bei der Fest-

Part 9	Acceptance and reverification tests for articulated arm coordinate measuring machines
Part 10	Acceptance and reverification tests of laser trackers
<b>Part 11</b>	<b>Determination of the uncertainty of measurement for coordinate measuring machines using uncertainty budgets</b>
Part 12.1	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

**Note:** The VDI/VDE 2617 series of guidelines comprises several parts, and further parts are to be published. The numbering of the individual parts follows a classification structure. A list of all currently available, and planned, parts of the series of guidelines as well as information on its structuring can be found on [www.vdi-richtlinien.de/2617](http://www.vdi-richtlinien.de/2617).

The EN ISO 10360-1 standard contains terminology pertaining to acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMMs). The assessment of the performance of CMMs is described in DIN EN ISO 10360-2. However, the test methods stated there are not suitable for assessing the task-specific uncertainty of measurements of arbitrary features under test. Part 7 and Part 8 of this series of guidelines describe two methods for this purpose. This guideline, VDI/VDE 2617 Part 11, states an alternative procedure based on DIN V ENV 13005 (GUM) and on DIN 1319-4. The mathematical models of the measurement tasks are developed and, in accordance with the Type B method of the GUM, the uncertainty contributions of the individual influence quantities are determined from the information available.

The procedure follows an analytical (calculation) approach which will, as a rule, yield an overestimation of the measurement uncertainty at little effort and expense, whereas a more accurate estimation may require increased effort and expense. Whether this is necessary or not can be decided, e.g., on the basis of the ratio of the measurement uncertainty to the tolerance as per VDI/VDE 2617 Part 8.

## 1 Scope

This guideline describes one possible procedure for determining the task-specific uncertainty of coordinate measurements. It allows to determine measurement uncertainties of practical workpiece tests, which can then be used for establishing conformance or non-conformance with the specification in accord-

stellung der Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung mit der Spezifikation zu berücksichtigen, oder um die Prüfprozesseignung zu beurteilen.

Das beschriebene Verfahren kann überall dort angewendet werden, wo sich die Verfahren nach VDI/VDE 2617 Blatt 7 bzw. Blatt 8 wegen möglicherweise fehlender Voraussetzungen (Simulationssoftware bzw. kalibriertes Werkstück) nicht anwenden lassen.

Außerdem lässt sich das Verfahren einsetzen, um die Beiträge einzelner Einflussgrößen zu bestimmen. Solche Kenntnisse werden z.B. benötigt, um die Messstrategie hinsichtlich der Anzahl und Anordnung der Messpunkte zu optimieren.

Das Verfahren ist für alle Messgrößen anwendbar, für die im Sinn von DIN V ENV 13005 (GUM) der Mittelwert der beste Schätzwert ist. Das sind alle mittels Ausgleichsrechnung nach *Gauß* berechneten Ergebnisse, z.B. Längenmaße wie Durchmesser oder Abstände, aber auch Winkel sowie Ortsabweichungen wie Position, Symmetrie und Koaxialität nach DIN EN ISO 1101.

In einigen Fällen sind die Messgrößen als Extremwerte definiert, z.B. Form, Richtung und Lauf nach DIN EN ISO 1101. Hier können die Unsicherheiten nur unter der Voraussetzung ermittelt werden, dass die örtlichen Formabweichungen der Oberfläche bei der Messung durch eine relativ hohe Messpunktzahl vollständig erfasst wurden.

## 2 Formelzeichen

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Formelzeichen verwendet:

$A$	konstanter Anteil des Grenzwerts der Längenmessabweichung $E_{MPE} = (A + L/K)$ eines KMG
$a_i$	Grenzabweichung einer bekannten oder angenommenen Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung
$b_i$	Verteilungsfaktor der Einflussgröße $X_i$ aus der Form der Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung bzw. Faktor für den Formelementeparameter
$c_i$	Sensitivitätskoeffizient; partielle Ableitung $c_i = \Delta Y / \Delta X_i$ der Messgröße $Y$ nach der Einflussgröße $X_i$ für deren Schätzwerte $x_i$
$D$	Durchmesser
$K$	Konstante im Nenner des längenabhängigen Anteils $L/K$ des Grenzwerts der Längenmessabweichung $E_{MPE} = (A + L/K)$ eines KMG

ance with DIN EN ISO 14253-1, or for assessing the test suitability.

The procedure described can be applied wherever the procedures according to VDI/VDE 2617 Part 7 or Part 8 are not applicable due to possibly unsatisfied requirements (simulation software or calibrated workpiece).

Furthermore, the procedure is suitable for determining contributions from individual influence quantities. Such information is required, e.g., to optimise the measurement strategy in terms of the number and arrangement of the measuring points.

The procedure is suitable for all measurands for which the mean value is the best estimate as per DIN V ENV 13005 (GUM). This holds for all results calculated by means of Gaussian regression, e.g. linear measures such as diameters or distances, but also angles and location errors including position, symmetry and coaxiality as per DIN EN ISO 1101.

In some cases, the measurands are defined as extreme values, e.g. form, orientation and run-out as per DIN EN ISO 1101. The uncertainties, then, can only be determined if the local form errors of the surface were recorded comprehensively during the measurement, using a rather large number of measuring points.

## 2 Symbols

The following symbols are used throughout this guideline:

$A$	constant included in the maximum permissible length measurement error, $E_{MPE} = (A + L/K)$ , of a CMM
$a_i$	tolerance of a known or assumed probability density distribution
$b_i$	distribution factor of the influence quantity, $X_i$ , from the shape of the probability density distribution, or factor for the feature parameter
$c_i$	sensitivity coefficient; partial derivative, $c_i = \Delta Y / \Delta X_i$ , of the measurand, $Y$ , with respect to the influence quantity, $X_i$ , for its estimates, $x_i$
$D$	diameter
$K$	constant denominator of the length-dependent component, $L/K$ , of the maximum permissible length measurement error, $E_{MPE} = (A + L/K)$ , of a CMM