

<p>VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE</p> <p>VERBAND DER ELEKTROTECHNIK ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK</p>	<p><b>Optische 3-D-Messsysteme</b> <b>Bildgebende Systeme mit flächenhafter</b> <b>Antastung</b></p> <p><b>Optical 3-D measuring systems</b> <b>Optical systems based on area scanning</b></p>	<p><b>VDI/VDE 2634</b></p> <p>Blatt 2 / Part 2</p> <p>Ausg. deutsch/englisch Issue German/English</p>
---	--	---

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> . . . . .	3	<b>1 Scope</b> . . . . .	3
<b>2 Formelzeichen</b> . . . . .	4	<b>2 Symbols</b> . . . . .	4
<b>3 Prinzip der Annahme und Überwachung</b> . . . . .	5	<b>3 Principle of acceptance test and reverification</b> . . . . .	5
<b>4 Annahmeprüfung</b> . . . . .	6	<b>4 Acceptance test</b> . . . . .	6
4.1 Kenngröße Antastabweichung . . . . .	7	4.1 Quality parameter probing error . . . . .	7
4.2 Kenngröße Kugelabstandsabweichung . . . . .	8	4.2 Quality parameter sphere-spacing error . . . . .	8
4.3 Kenngröße Ebenheitsmessabweichung . . . . .	11	4.3 Quality parameter flatness measurement error . . . . .	11
<b>5 Überwachung</b> . . . . .	12	<b>5 Reverification</b> . . . . .	12
5.1 Durchführung . . . . .	13	5.1 Procedure . . . . .	13
5.2 Auswertung . . . . .	13	5.2 Evaluation . . . . .	13
5.3 Überwachungsintervall und Dokumentation . . . . .	13	5.3 Reverification interval and documentation . . . . .	13
<b>Anhang</b> . . . . .	14	<b>Annex</b> . . . . .	14
A1 Allgemeines . . . . .	14	A1 Introduction . . . . .	14
A2 Unsicherheit der Antastabweichung . . . . .	14	A2 Uncertainty of the probing error . . . . .	14
A3 Unsicherheit der Kugelabstandsabweichung . . . . .	14	A3 Uncertainty of the sphere-spacing error . . . . .	14
A4 Unsicherheit der Ebenheitsmessabweichung . . . . .	15	A4 Uncertainty of the flatness measurement error . . . . .	15
Schrifttum . . . . .	16	Bibliography . . . . .	16

## 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

Optische 3-D-Messsysteme werden als universelle Mess- und Prüfgeräte eingesetzt. Jeder Betreiber muss sicher sein, dass das eingesetzte optische 3-D-Messsystem die geforderte Leistung erbringt. Insbesondere darf die maximal zulässige Messabweichung nicht überschritten werden. Dies kann auf Dauer nur durch vergleichbare Abnahmekriterien und eine regelmäßige Überwachung der Geräte gewährleistet werden. Die Verantwortung dafür liegt zum einen beim Gerätethersteller und zum anderen beim Betreiber des optischen 3-D-Messsystems.

Die Annahme und Überwachung von optischen 3-D-Messsystemen unterschiedlicher Bauweise, Automatisierungsstufe und Größe muss schnell und einfach mit kostengünstigen Prüfkörpern durchgeführt werden können. Dazu eignen sich Längennormale und Prüfkörper, die wie übliche Messobjekte mit dem optischen 3-D-Messsystem gemessen werden.

Die vorliegende Richtlinie enthält praxisnahe Abnahme- und Überwachungsverfahren zur Beurteilung von bildgebenden optischen 3-D-Messsystemen mit flächenhafter Antastung hinsichtlich ihrer Genauigkeit. Die Kenngrößen *Antastabweichung* und *Kugelabstandsabweichung* sind in Anlehnung an DIN EN ISO 10 360 definiert. Zusätzlich wird die Kenngröße *Ebenheitsmessabweichung* eingeführt.

Die Richtlinienreihe VDI/VDE 2634 besteht aus folgenden Blättern:

**Blatt 1** Systeme mit punktförmiger Antastung

**Blatt 2** Bildgebende Systeme mit flächenhafter Antastung

**Blatt 3** Bildgebende Systeme mit flächenhafter Antastung in mehreren Einzelansichten

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/2634](http://www.vdi.de/2634).

## 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

Optical 3-D measuring systems are used as universal measuring and test equipment. In each case, the user must be sure that the optical 3-D measuring system in use complies with the required performance specification. In particular, the maximum permissible measurement error shall not be exceeded. In the long run, this can only be ensured by means of standardised acceptance criteria, and by checking of the equipment at regular intervals. The responsibility for this is shared by the manufacturer of the measuring equipment on the one hand and the user on the other hand.

Quick and easy methods using reasonably priced artefacts are needed for the acceptance and reverification of optical 3-D measuring systems of various designs, degrees of automation, and sizes. This can be achieved by means of length standards and artefacts which are measured in the same way as typical workpieces.

This guideline describes practical acceptance and reverification methods for the evaluation of the accuracy of optical 3-D measuring imaging systems based on area scanning. The definitions of the quality parameter *probing error* and *sphere spacing error* are similar to that in DIN EN ISO 10360. As additional quality parameter, the *flatness measurement error* is defined.

The series of guidelines VDI/VDE 2634 consists of the following parts:

**Part 1** Imaging systems with point-by-point probing

**Part 2** Optical systems based on area scanning

**Part 3** Multiple view systems based on area scanning

A catalogue of all available parts of this series of guidelines can be accessed on the internet at [www.vdi.de/2634](http://www.vdi.de/2634).

## 1 Anwendungsbereich

Die vorliegende Richtlinie gilt für optische 3-D-Messsysteme mit flächenhafter Antastung, die nach dem Triangulationsprinzip arbeiten. Diese können anwendungsspezifisch konfiguriert werden. Die Sensoren bestehen aus mehreren Komponenten, z.B. einem oder mehreren bildgebenden Messköpfen (Kameras) und einem oder mehreren Projektionssystemen, welche Strukturen auf die zu messende Objektoberfläche abbilden, bzw. einem System zur Beleuchtung einer vorhandenen Oberflächentextur. Beispiele für derartige Sensoren sind Messsysteme auf der Basis von Streifenprojektions- oder Moirétechniken sowie flächenhaft messende Fotogrammetrie- oder Scannermesssysteme.

Diese Richtlinie gilt für die Messung von 3-D-Objekten in einem elementaren Messvorgang („Einzelansicht“). Während des elementaren Messvorgangs dürfen die Komponenten des Sensors nicht relativ zueinander bewegt werden. Nicht abgedeckt sind Systeme, die durch Repositionieren des Sensors und/oder des Objekts mehrere Einzelansichten in ein Objektkoordinatensystem transformieren, z.B. durch:

- messende, translatorische und/oder rotatorische Positionierachsen
- extern angemessene Referenzmarken
- mathematisches Einpassen der Einzelansicht in die Gesamtpunktwolke („Matching“)

In dieser Richtlinie werden Verfahren und Prüfkörper zur Annahme und zur regelmäßigen Überwachung von optischen 3-D-Messsystemen angegeben. Die Verfahren eignen sich gleichermaßen für

- die Annahme von optischen 3-D-Messsystemen und
- die Überwachung von optischen 3-D-Messsystemen (im Sinne der Prüfmittelüberwachung gemäß DIN EN ISO 9000 bis DIN EN ISO 9004)

Die Anforderungen an die zur Annahme und Überwachung eingesetzten Prüfkörper werden festgelegt und einzelne beispielhaft beschrieben. Prüfkörper im Sinne dieser Richtlinie sind lineare, ebene und räumliche Anordnungen von Antast-Formelementen. Dies sind beispielsweise optisch antastbare Ebenen oder Kugeln. Prüfkörper müssen bezüglich ihrer Maße und Form kalibriert sein.

Zur Beurteilung der Genauigkeit der Messsysteme werden Kenngrößen festgelegt. Die Grenzwerte dieser Kenngrößen werden für die Annahme der optischen 3-D-Messsysteme vom Hersteller und für die Überwachung vom Betreiber festgelegt. Alle drei Kenngrößen gemeinsam erlauben eine quantitative

## 1 Scope

This guideline applies to optical 3-D measuring systems based on area scanning, whose function is based on triangulation. The equipment can be configured by the user to suit a particular measurement task. Their sensors consist of several components such as one or several imaging sensors (cameras) and one or several projection systems projecting structures onto the object surface to be measured, or a system serving to illuminate any existing surface texture. Examples of such sensors are measuring systems based on fringe-projection or moiré techniques, and photogrammetric or scanning systems with area-based measuring capabilities.

This guideline applies to the measuring of three-dimensional objects in a single elementary measuring process (“single view”). The components of the sensor shall not change their positions relative to each other during the elementary measuring process. This guideline does not cover systems where several single views are transformed into an object-related reference frame by repositioning the sensor and/or the object, for example by means of

- measuring translatory and/or rotary positioning axes
- externally measured reference marks
- arithmetical fitting of the single view into the overall point cloud (matching)

This guideline describes methods and artefacts for the testing of optical 3-D measuring systems. The methods are equally suited for

- the acceptance of optical 3-D measuring systems and
- the reverification of optical 3-D measuring systems (for the purpose of checking of test equipment as specified in DIN EN ISO 9000 through DIN EN ISO 9004)

The requirements to be met by the artefacts used for acceptance and reverification are specified, and examples of artefacts are described. For the purpose of this guideline, an artefact is a linear, two-dimensional, or three-dimensional arrangement of features to be probed. Examples are planes and spheres that can be probed optically. Artefacts shall be calibrated with respect to their dimensions and form.

Quality parameters are defined in order to assess the accuracy of the measuring systems. Limits for these quality parameters are specified for the acceptance of the optical 3-D measuring systems and for their reverification by the manufacturer and by the user, respectively. All three quality parameters together al-

Beurteilung des Messsystems, wobei system- oder anwendungsbezogen eine unterschiedliche Gewichtung erfolgen kann.

Die Kenngrößen dienen der Spezifikation der optischen 3-D-Messsysteme sowie dem Vergleich unterschiedlicher Messsysteme. Da diese Werte von der Betriebsart und den Betriebsbedingungen abhängig sind, wird empfohlen, für die Annahme und Überwachung besondere Betriebsarten und -bedingungen anzugeben und festzulegen, um die Vergleichbarkeit der Prüfergebnisse zu sichern. Die Kenngrößen sind nicht ohne Weiteres auf jede beliebige Messaufgabe übertragbar.

Werden keine Einschränkungen der Betriebsarten und Betriebsbedingungen vereinbart, so müssen die spezifizierten Grenzwerte der Kenngrößen unter allen möglichen Betriebsarten und -bedingungen eingehalten werden. Bei Nichteinhaltung von gegebenen Einschränkungen ist eine Überschreitung des jeweiligen Grenzwerts der Kenngrößen möglich und zulässig.

Unter Betriebsarten sollen Einstell- und Konfigurationsmöglichkeiten des optischen 3-D-Messsystems verstanden werden, z.B.:

- Beleuchtungsart und -intensität
- Messvolumen
- Art, Anzahl und Anordnung der verwendeten optischen Messköpfe
- Art und Dauer der Bildaufnahme und -auswertung

Unter Betriebsbedingungen werden die äußeren Einflussfaktoren auf das optische 3-D-Messsystem verstanden. Dies sind z.B.:

- Temperatur und Temperaturgradient
- Feuchte
- Schwingungen (mechanisch)
- elektromagnetische Störeffekte
- Umgebungsbeleuchtung
- Staub

## 2 Formelzeichen

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Formelzeichen verwendet:

Formel-zeichen	Benennung
<b>Kenngrößen</b>	
$F$	Ebenheitsmessabweichung
$P_F$	Antastabweichung (Form)
$P_S$	Antastabweichung (Maß)
SD	Kugelabstandsabweichung

low to quantitatively evaluate the measuring system. Different system- and application-specific weightings are possible.

The quality parameters serve to specify optical 3-D measuring systems, and to compare different measuring systems. For their values being dependent on the operating mode and operating conditions, it is recommended to define and specify particular operating modes and operating conditions for acceptance and reverification to ensure comparability of the test results. The same quality parameters cannot per se be used for any arbitrary measurement task.

Where no limitations to the operating modes and operating conditions are specified, the specified limits of the quality parameters must be complied with under all possible operating modes and operating conditions. Exceeding the limits of the quality parameters is possible, and permissible, where specified limitations are not met.

The term operating modes denotes adjustment and configuration options of the optical 3-D measuring system such as:

- type and intensity of illumination
- measuring volume
- type, number, and arrangement of the optical sensors used
- type and duration of image acquisition and processing

The term conditions of operation denotes external influences on the optical 3-D measuring system. These include, for example:

- temperature and its gradient
- humidity
- vibrations (mechanical)
- electromagnetic interference
- environmental lighting conditions
- dust

## 2 Symbols

The following symbols are used throughout this guideline:

Symbol	Term
<b>Characteristics</b>	
$F$	flatness measurement error
$P_F$	probing error (form)
$P_S$	probing error (size)
SD	sphere-spacing error